

STEPHEN HAWKING

UNIVERSUL  
ÎNTR-O COAJĂ DE NUCĂ





## CUVÎNT ÎNAINTE ~ VII

### CAPITOLUL 1 ~ pagina 3

#### **Scurtă istorie a relativității**

*Cum a pus Einstein bazele celor două teorii fundamentale ale secolului XX: relativitatea generală și teoria cuantică.*

### CAPITOLUL 2 ~ pagina 29

#### **Forma timpului**

*Teoria generală a relativității a lui Einstein dă timpului o formă.  
Cum poate fi acest fapt pus de acord cu teoria cuantică.*

### CAPITOLUL 3 ~ pagina 67

#### **Universul într-o coajă de nucă**

*Universul are istorii multiple, fiecare dintre ele fiind determinată de o nucă mică.*

### CAPITOLUL 4 ~ pagina 101

#### **Prezicând viitorul**

*Pierderea informației în găurile negre poate reduce capacitatea noastră de a prezice viitorul.*

### CAPITOLUL 5 ~ pagina 131

#### **Protejînd trecutul**

*Este posibilă călătoria în timp? Ar putea o civilizație avansată să se întoarcă în timp și să schimbe trecutul?*

### CAPITOLUL 6 ~ pagina 155

#### **Va fi sau nu ca în *Star Trek* viitorul nostru?**

*Cum vor continua să se dezvolte în complexitate, într-un ritm tot mai susținut, viața biologică și cea electronică.*

### CAPITOLUL 7 ~ pagina 173

#### **„Brană lume” nouă**

*Trăim pe o brână sau sîntem doar holograme?*

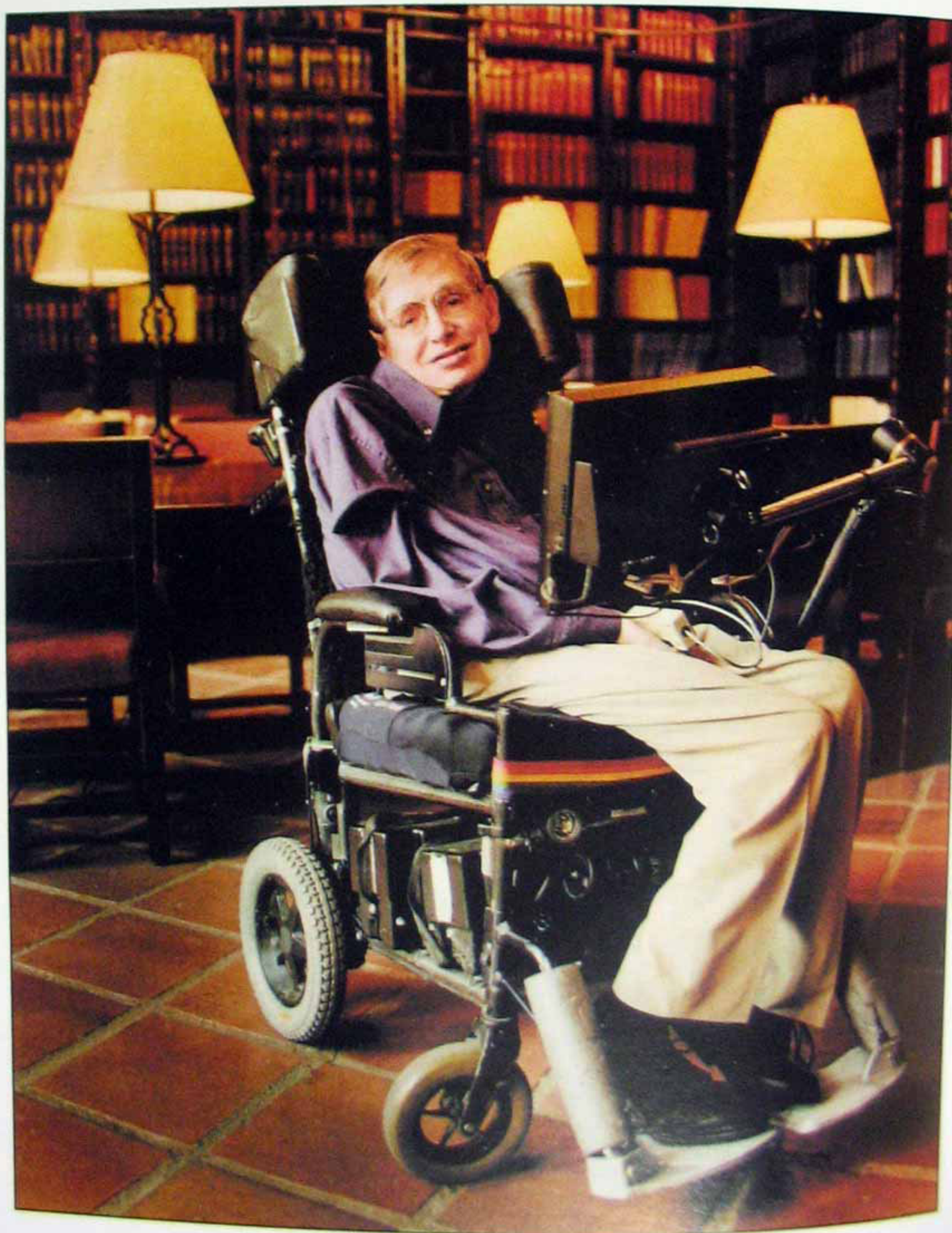
## GLOSAR

## SUGESTII BIBLIOGRAFICE

## CREDIT FOTOGRAFIC



*Stephen Hawking  
in 2001,  
© Stewart Cohen*





## CUVÎNT ÎNAINTE

**N**u m-am așteptat ca *Scurtă istorie a timpului*, cunoscuta mea carte, să aibă atîta succes. Ea a rămas timp de peste patru ani pe lista celor mai bine vîndute cărți din *Sunday Times*, adică mai mult decît a rezistat acolo orice altă carte, fapt remarcabil pentru o lucrare de știință destul de dificilă. Cititorii mă tot întrebau cînd voi scrie o continuare. Am rezistat presiunii și pentru că nu am vrut să scriu *Fiul scurtei istorii* sau *O istorie ceva mai lungă a timpului*, și pentru că eram ocupat cu cercetarea. Dar am înțeles că e loc pentru o altfel de carte, care ar putea fi mai ușor de înțeles. *Scurtă istorie a timpului* a fost structurată liniar, cele mai multe capitole continuîndu-le pe precedentele și depinzînd logic de ele. Această idee a fost pe placul unor cititori, dar alții s-au împotmolit la primele capitole și n-au mai ajuns mai departe, la subiecte mult mai interesante. Cartea de față, dimpotrivă, seamănă mai curînd cu un arbore: capitolele 1 și 2 formează un trunchi central din care se ramifică celelalte capitole.

Ramurile sînt aproape independente una de alta și, după parcurgerea trunchiului central, pot fi abordate în orice ordine. Ele corespund domeniilor în care am lucrat sau la care am reflectat după publicarea *Surteii istorii a timpului*. Astfel, ele prezintă o imagine a unora dintre cele mai active domenii ale cercetării actuale. Și în interiorul fiecărui capitol am încercat să evit structura exclusiv liniară. Ilustrațiile și explicațiile oferă o alternativă la text, la fel ca în *Scurtă istorie ilustrată a timpului*, publicată în 1996, iar casetele și notele din marginea paginii oferă posibilitatea de a pătrunde în mai multe detalii decît e cu putință în textul principal.

În 1988, cînd a fost publicată pentru prima oară *Scurta istorie a timpului*, teoria finală despre tot ce există părea că nu e departe. Cum s-a schimbat situația de atunci înapoi? Sîntem



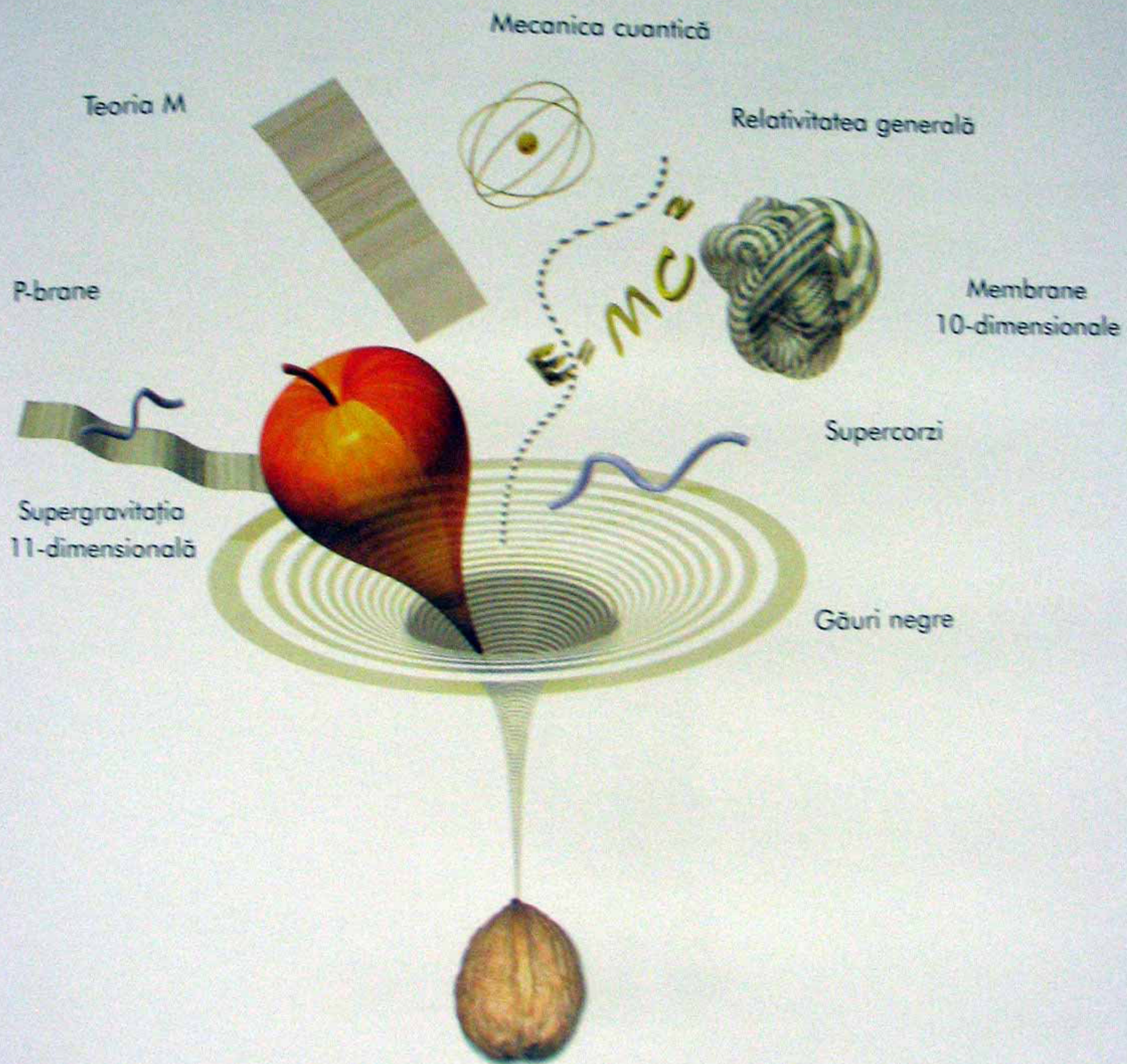
mai aproape de țintă? Așa cum am arătat în această carte, de atunci am progresat mult. Dar călătoria continuă, iar sfârșitul ei nu se întrevede încă. După cum spune un vechi proverb, e mai bine să înaintezi plin de speranță decât să ajungi. Urmărirea unei descoperiri ne alimentează creativitatea în toate domeniile, nu numai în știință. Dacă am ajunge la capătul drumului, spiritul uman s-ar ofili și ar muri. Dar eu nu cred că ne vom opri vreodată: dacă nu vom avansa în profunzime, vom avansa în complexitate și ne vom afla mereu în centrul unui orizont al posibilităților care se lărgeste.

Vreau să-mi împărtășesc entuziasmul față de descoperirile făcute și față de imaginea realității care rezultă din ele. Pentru a comunica mai bine senzația de nemijlocit, m-am concentrat asupra domeniilor în care am lucrat eu însumi. Detaliile lucrării sînt pronunțat tehnice, dar cred că ideile generale pot fi transmise fără un bagaj matematic prea consistent. Sper să fi reușit.

Am primit mult ajutor pentru această carte. I-aș menționa în special pe Thomas Hertog și pe Neel Shearer pentru sprijinul legat de figuri, legende și casete, pe Ann Harris și Kitty Ferguson, care au editat manuscrisul (sau, mai exact, fișierele electronice, deoarece tot ce scriu este sub formă electronică) și pe Philip Dunn de la Book Laboratory și Moonrunner Design, care a creat ilustrațiile. Dar, dincolo de asta, vreau să le mulțumesc tuturor celor care mi-au făcut posibilă o viață aproape normală și desfășurarea cercetării științifice. Fără ei, această carte nu ar fi putut fi scrisă.

Stephen Hawking  
*Cambridge, 2 mai 2001*







## CAPITOLUL 1

# Scurtă istorie a relativității

*Cum a pus Einstein bazele celor două teorii fundamentale ale secolului XX: relativitatea generală și teoria cuantică.*



Professor Einstein

Albert Einstein™

low

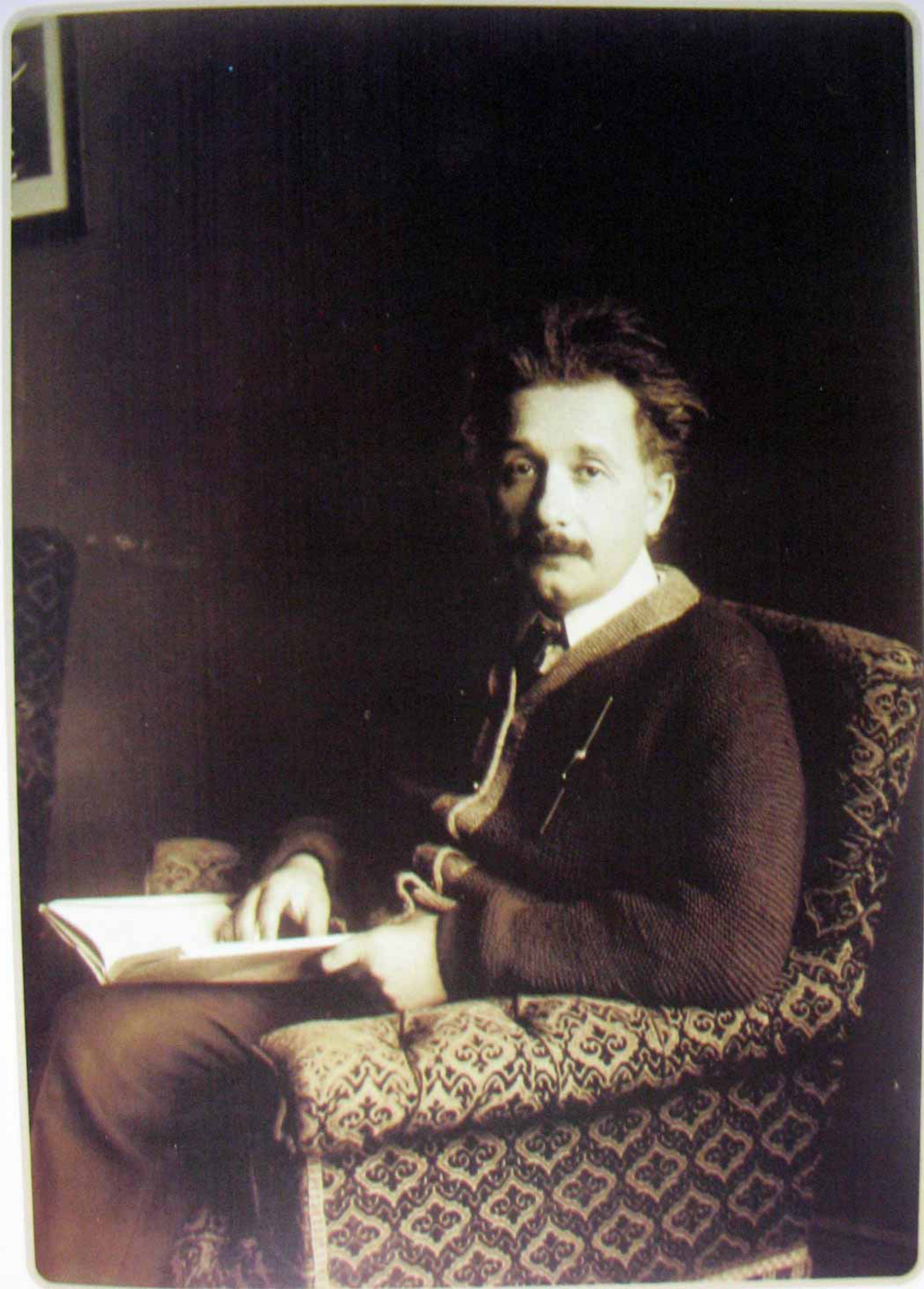


A. Einstein

Albert Einstein, descoperitorul teoriilor relativității speciale și generale, s-a născut la Ulm, în Germania, în 1879, dar în anul următor familia lui s-a mutat la München, unde tatăl său Hermann și unchiul Jakob au pus pe picioare o mică afacere cu produse electrice, care n-a prea avut succes. Albert n-a fost un copil minune, dar afirmațiile că ar fi fost un elev slab par exagerate. În 1894, afacerea tatălui a dat faliment, iar familia s-a mutat la Milano. Părinții au hotărât ca el să rămână pentru a-și termina școala, dar fiului nu-i plăcea învățămîntul autoritar, astfel că, după cîteva luni, Albert a plecat după părinți la Milano. Mai tîrziu, și-a completat studiile la Zürich, absolvind în anul 1900 prestigioasa Școală Politehnică Federală, cunoscută și sub denumirea de ETH. Înclinația sa către dispută și contestarea autorității n-au făcut să fie îndrăgit de profesorii de la ETH, astfel că nici unul dintre ei nu i-a oferit postul de asistent, calea firească pentru o carieră academică. Doi ani mai tîrziu, a reușit în sfîrșit să-și găsească un post de stagiar la Biroul elvețian de brevete din Berna. Pe cînd lucra acolo, în 1905, a scris trei lucrări care au făcut din el unul dintre savanții de frunte ai lumii și care au declanșat două revoluții conceptuale — revoluții ce au schimbat înțelegerea noastră asupra timpului, spațiului și realității înseși.

Către sfîrșitul secolului XIX, oamenii de știință credeau că se află aproape de descrierea completă a universului. Ei își imaginau că spațiul e umplut de un mediu continuu, numit „eter”. Razele de lumină și semnalele radio erau considerate unde în acest eter, exact la fel cum sunetul reprezintă unde de presiune în aer. Pentru a se ajunge la o teorie completă, nu era nevoie decît să se măsoare cu acuratețe proprietățile elastice ale eterului. De fapt, anticipînd astfel de măsurători, Laboratorul Jefferson de la Universitatea Harvard a fost construit în întregime fără cuie din fier, așa încît să nu aibă loc interferențe cu măsurătorile magnetice sensibile. Proiectanții au uitat însă că zidul din cărămizi brun-roșcate al laboratorului, la fel ca cele mai multe clădiri de la Harvard, conține mari cantități de fier. Clădirea este folosită chiar și acum, deși la Harvard încă nu se știe cîtă greutate va mai suporta etajul bibliotecii fără cuie din fier.

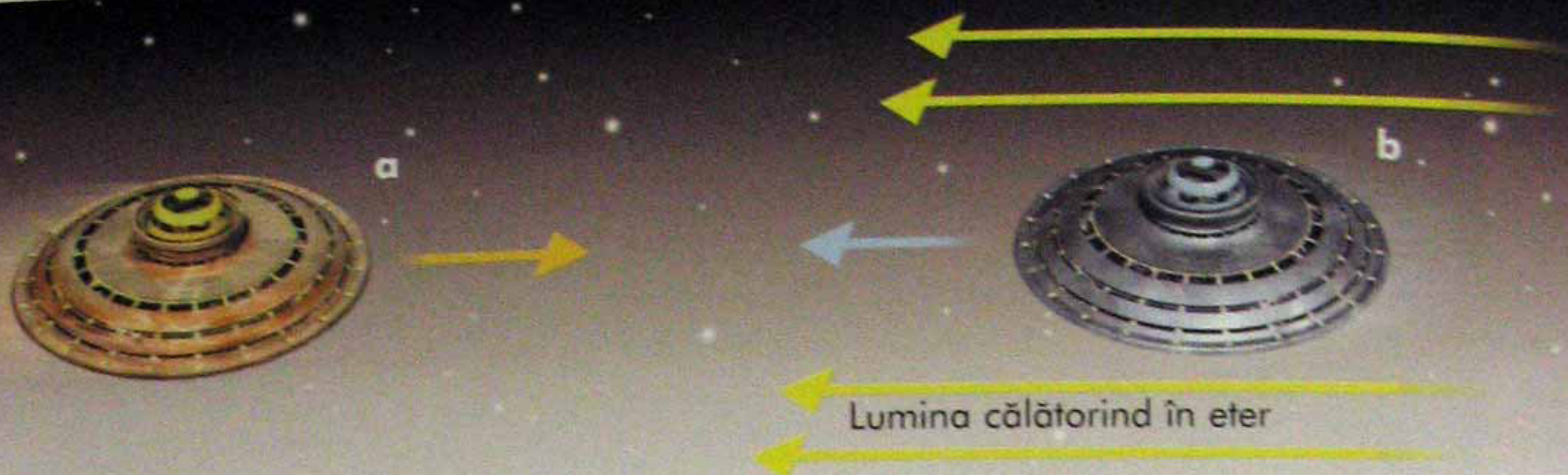




Albert Einstein™

*Albert Einstein in 1920*





(Fig. 1.1, sus)

#### TEORIA ETERULUI IMOBIL

Dacă lumina ar fi o undă într-un material elastic numit eter, viteza luminii ar trebui să pară mai mare pentru cineva aflat într-o navă spațială **(a)** care se deplasează spre lumină și mai mică pentru cineva aflat într-o navă spațială **(b)** care se deplasează în același sens cu lumina.

(Fig. 1.2, pag. 7)

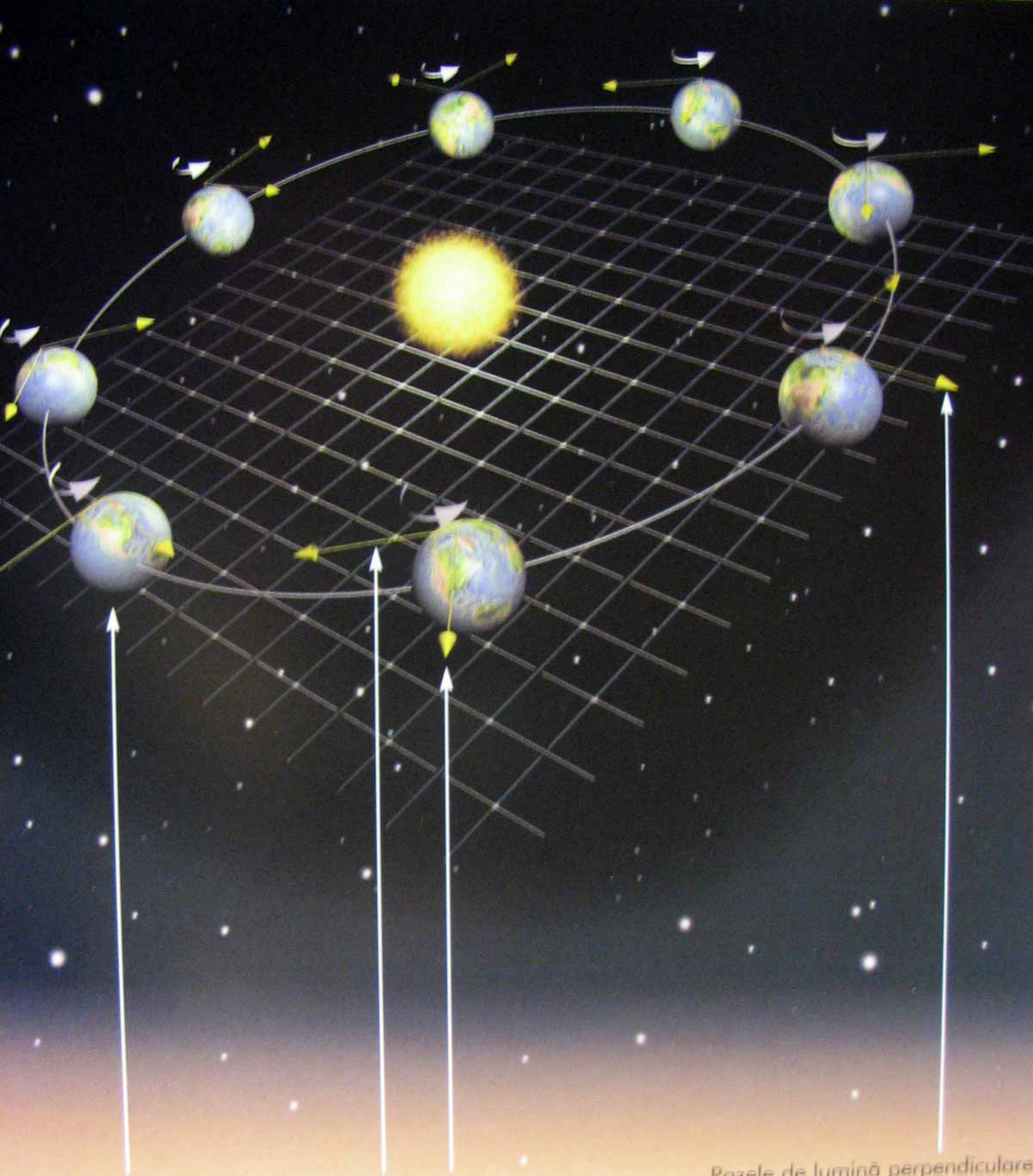
Nu s-a găsit vreo diferență între viteza luminii în direcția orbitei Pământului și cea în direcția perpendiculară pe aceasta.

Către sfârșitul secolului, au început să apară dezacorduri în raport cu ideea unui eter omniprezent. Era de așteptat ca lumina să călătorească prin eter cu o viteză fixă, dar dacă v-ați deplasa prin eter în aceeași direcție cu lumina, viteza ei ar părea mai mică, în timp ce dacă v-ați deplasa în direcția opusă, viteza ei ar părea mai mare (Fig. 1.1).

O serie de experimente care să confirme această idee au eșuat însă. Cel mai îngrijit și mai precis dintre ele a fost efectuat de Albert Michelson și Edward Morley la Școala de Științe Aplicate „Case” din Cleveland, Ohio, în 1887. Ei au comparat viteza a două raze de lumină aflate la unghiuri drepte una față de alta. O dată cu Pământul care se rotește în jurul axei sale și orbitează în jurul Soarelui, aparatul se mișcă prin eter după direcții și cu viteze diferite (Fig. 1.2). Dar Michelson și Morley n-au găsit nici o diferență diurnă sau anuală între cele două raze de lumină. Totul era ca și când lumina ar călători mereu cu aceeași viteză față de observator, oriunde s-ar afla el și indiferent de viteza și direcția mișcării sale (Fig. 1.3, pag. 8).

Pe baza experimentului Michelson și Morley, fizicianul irlandez George FitzGerald și fizicianul olandez Hendrik Lorentz au sugerat că toate corpurile care se mișcă prin eter se vor contracta, iar ceasurile vor rămâne în urmă. Această contracție și încetinirea ceasurilor ar avea loc astfel încât oamenii ar măsura aceeași viteză a luminii, oricum s-ar mișca în raport cu eterul. (FitzGerald și Lorentz mai considerau încă eterul o substanță reală.) Dar, într-o lucrare scrisă în iunie 1905, Einstein a arătat că, din



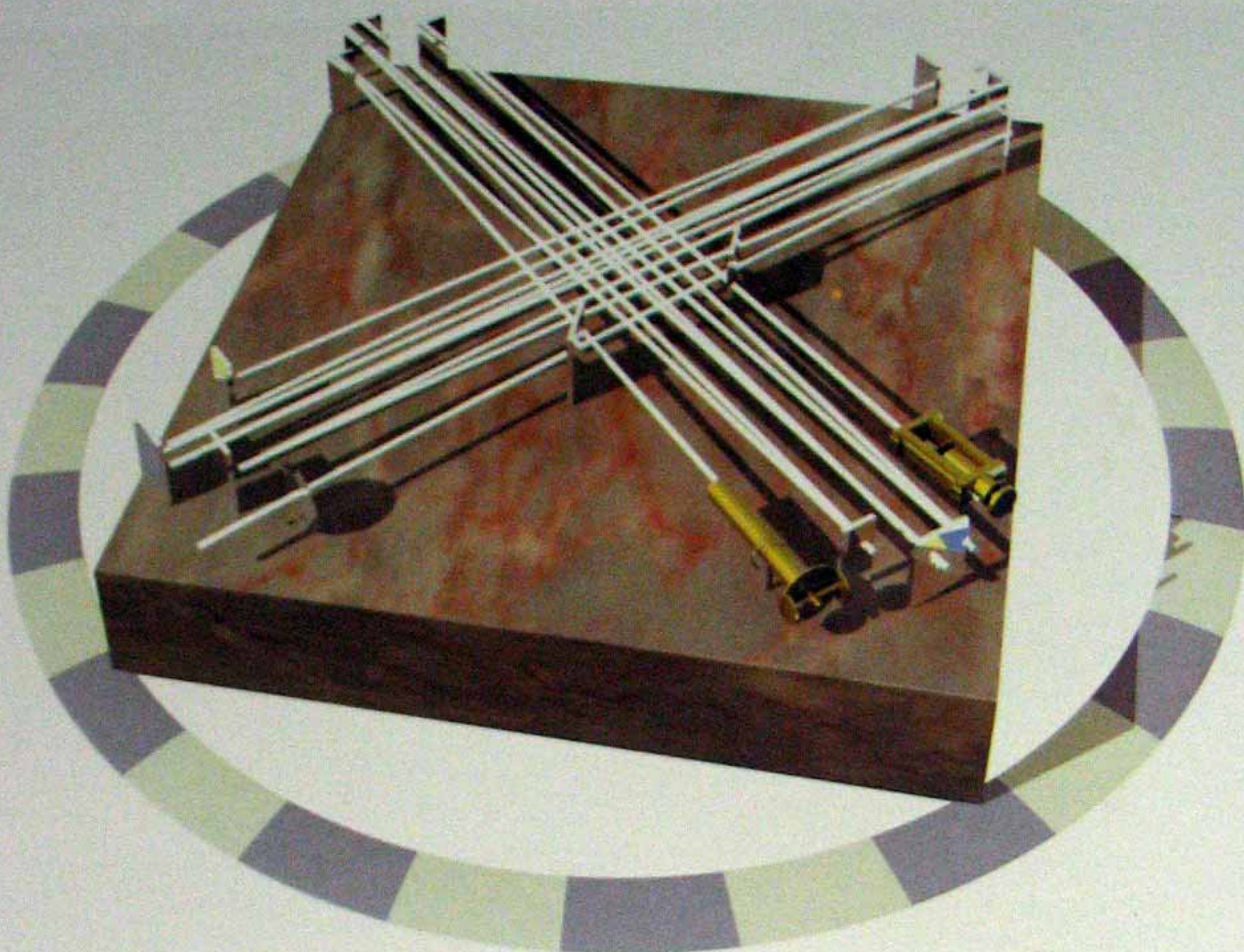


Rotafia Pămîntului  
de la vest la est

Lumina la unghiuri drepte față  
de orbita Pămîntului  
în jurul Soarelui

Razele de lumină perpendiculare  
una pe alta și urmînd rotația  
Pămîntului arată de asemenea că  
nu există vreo diferență de viteză.

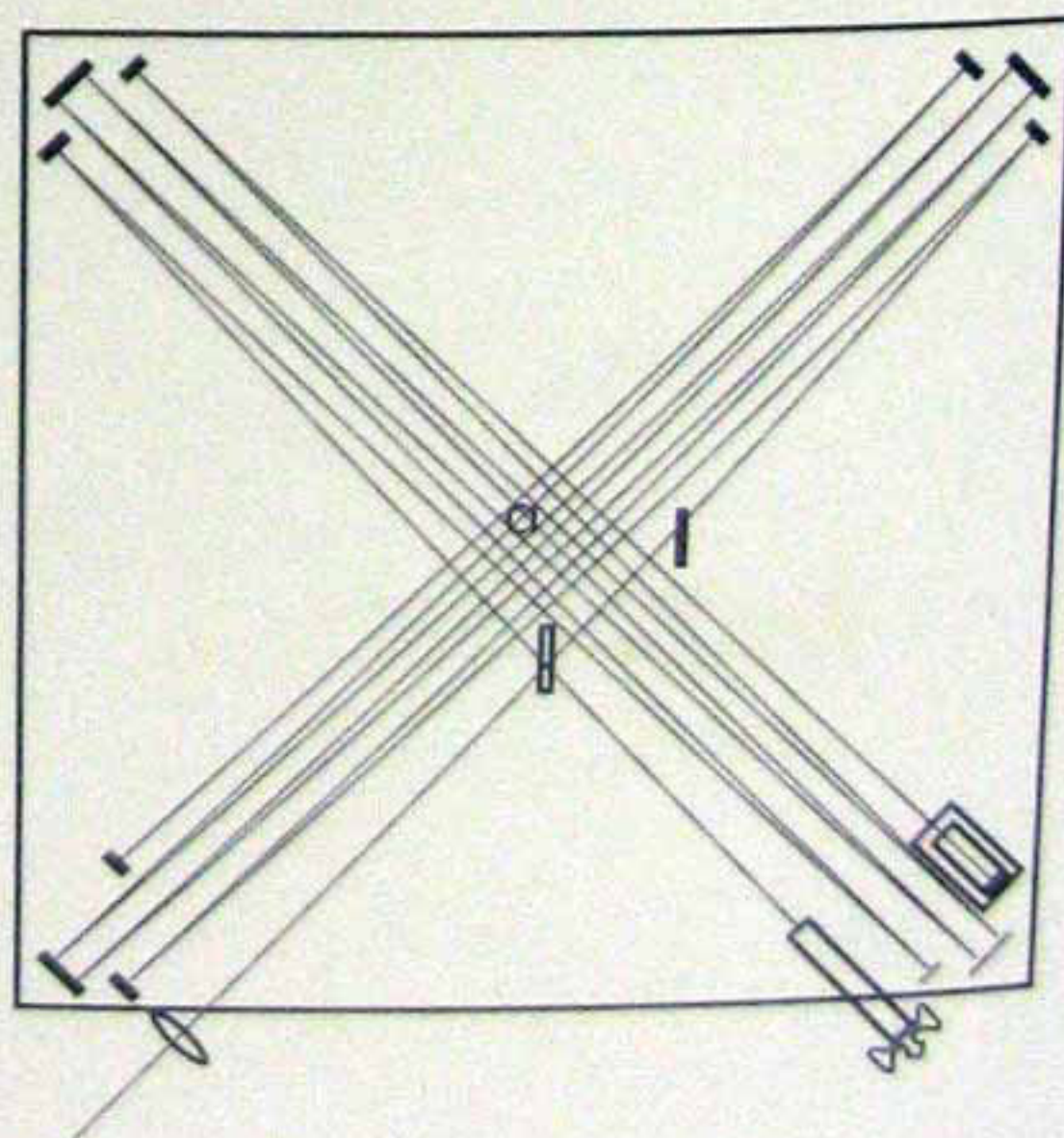




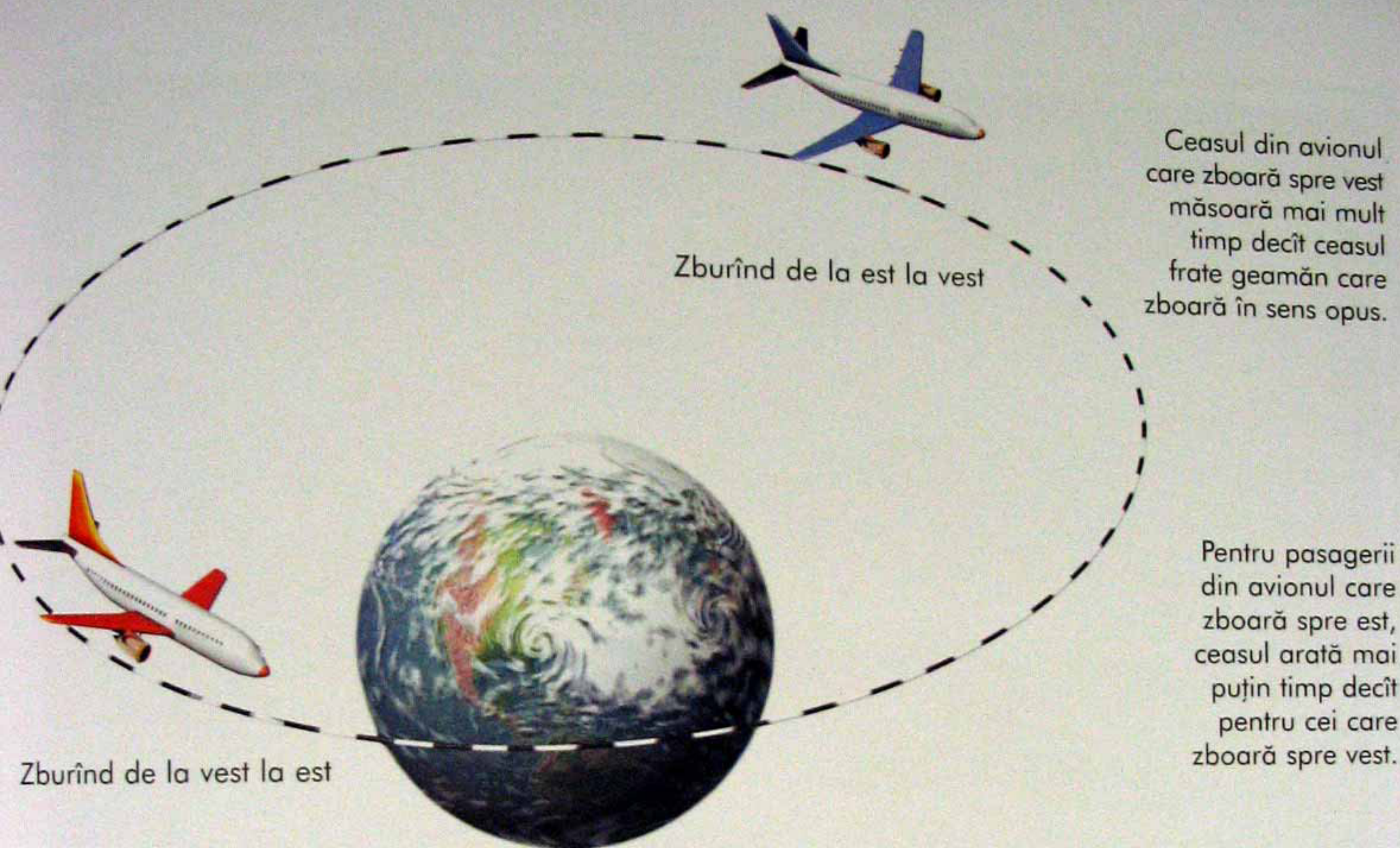
(Fig. 1.3) MĂSURÎND VITEZA LUMINII

În interferometrul lui Michelson și Morley, lumina de la o sursă e despărțită în două raze de o oglindă semi-argintată. Cele două raze de lumină călătoresc pe direcții perpendiculare și apoi sînt combinate într-o singură rază trecînd încă o dată prin oglinda semiargintată. O diferență între vitezele luminii în cele două direcții ar însemna că maximele unei unde ar veni în același timp cu minimele celeilalte, anulîndu-se reciproc.

Dreapta: Diagrama experimentului reconstituită după cea apărută în *Scientific American* din 1887.







(Fig. 1.4)

O versiune a paradoxului gemenilor (Fig. 1.5, pag. 10) a fost verificată experimental trimițând să zboare în jurul lumii, în sensuri opuse, două ceasuri precise.

La întoarcere, s-a constatat că ceasul care a zburat spre est a înregistrat ceva mai puțin timp.

moment ce nu se poate determina dacă ceva se mișcă sau nu prin spațiu, eterul era o noțiune inutilă. El a pornit în schimb de la postulatul conform căruia legile științei trebuie să apară identice tuturor observatorilor aflați în mișcare uniformă. În particular, ei trebuie să măsoare aceeași viteză a luminii, indiferent de viteza cu care se mișcă ei înșiși. Viteza luminii e independentă de mișcarea lor și e aceeași în toate direcțiile.

Aceasta impunea abandonarea ideii că există o cantitate universală numită timp, pe care o măsoară toate ceasurile. În schimb, fiecare ar avea propriul lui timp. Timpurile a două persoane ar fi aceleași dacă persoanele s-ar afla în repaus una față de alta, dar nu și dacă ele s-ar afla în mișcare relativă.

Afirmația de mai sus a fost confirmată de un șir de experimente, inclusiv unul în care două ceasuri precise au zburat în direcții opuse în jurul lumii. La întoarcere, ceasurile au indicat o ușoară diferență de timp (Fig. 1.4). Aceasta sugerează că, dacă vrem să trăim mai mult, trebuie să zburăm întruna spre răsărit, așa încât viteza avionului să se adauge rotației pământului. Frațiunea de secundă câștigată n-ar compensa însă mesele oferite de liniile aeriene.







(Fig. 1.5 stînga)

### PARADOXUL GEMENILOR

În teoria relativității, fiecare observator are propria măsură a timpului, ceea ce duce la așa-numitul paradox al gemenilor.

Unul din cei doi gemeni **(a)** pleacă într-o călătorie spațială deplasîndu-se cu o viteză apropiată de cea a luminii **(c)**, iar fratele său **(b)** rămîne pe Pămînt.

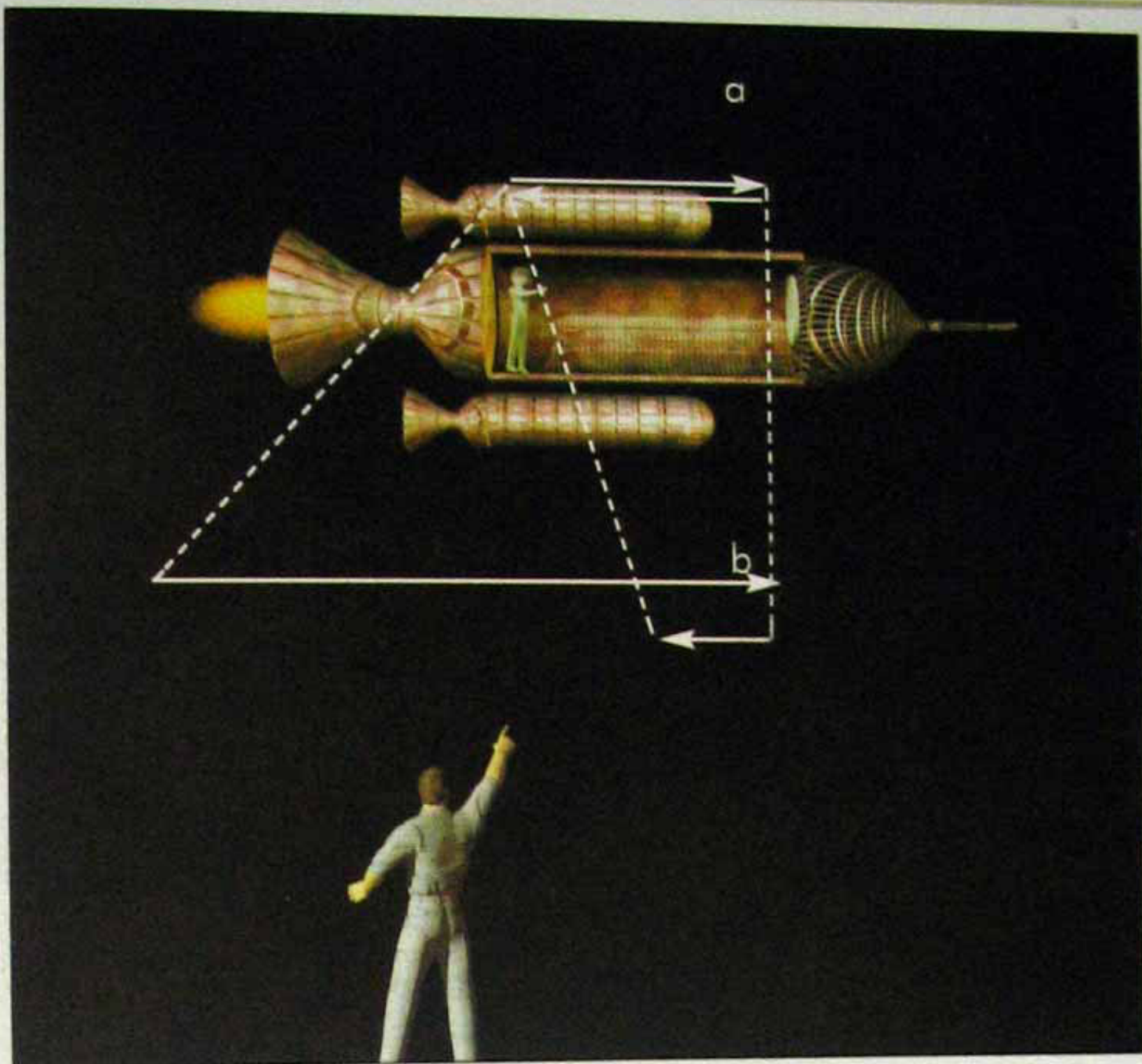
Datorită mișcării lui **(a)**, timpul din nava spațială, așa cum e observat de geamănul de pe Pămînt, trece mai lent. După întoarcerea din spațiu, călătorul **(a2)** își va găsi fratele geamăn **(b2)** mai îmbătrînit decît el.

Deși pare contrar bunului simț, un număr de experimente arată că în scenariul prezentat geamănul călător va fi cu adevărat mai tînăr.

(Fig. 1.6 dreapta)

O navă spațială trece pe lîngă Pămînt de la stînga la dreapta cu o viteză de patru cincimi din viteza luminii. Dintr-un capăt al cabinei e emis un puls de lumină care se reflectă de celălalt capăt **(a)**.

Lumina e observată de oamenii de pe Pămînt și de pe navă. Din cauza mișcării navei, observatorii nu vor cădea de acord cu privire la distanța pe care a parcurs-o lumina după reflectare **(b)**. Ei nu cad de acord nici în privința timpului de deplasare a luminii, deoarece, conform postulatului lui Einstein, viteza luminii e aceeași pentru toți observatorii care se mișcă uniform.



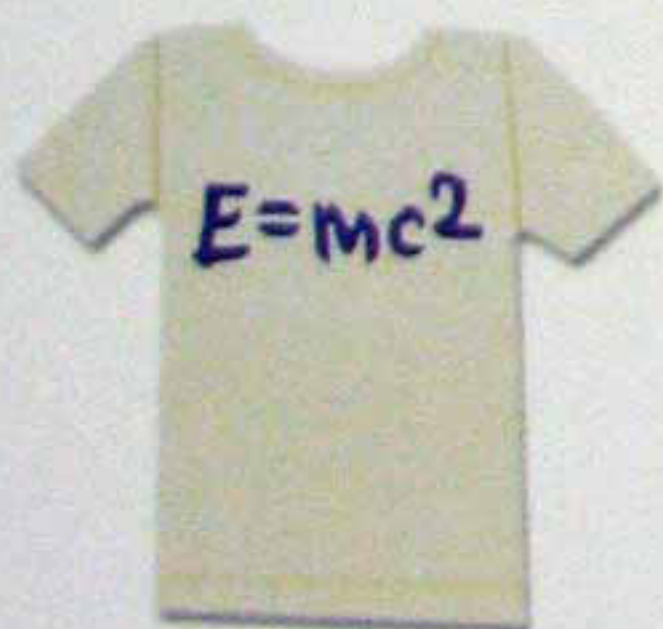
Postulatul lui Einstein, conform căruia legile naturii trebuie să apară la fel tuturor observatorilor care se mișcă liber, a constituit baza teoriei relativității, numită astfel fiindcă presupune că doar mișcarea relativă are relevanță. Frumusețea și simplitatea teoriei i-au convins pe mulți gînditori, dar mai rămîneau destui opozanți. Einstein a înlăturat două dintre absoluturile secolului XIX, repausul absolut, așa cum era el reprezentat de eter, și timpul absolut, sau universal, pe care ar fi trebuit să-l măsoare toate ceasurile. Mulți au considerat inacceptabil acest concept. Rezulta oare de aici, se întrebau oponenții, că *totul* era relativ, că nu mai există standarde morale absolute? Aceste dificultăți s-au perpetuat de-a lungul anilor '20 și '30. În 1921, Einstein a primit Premiul Nobel pentru o lucrare importantă, dar, prin comparație (după standardele lui), minoră, apărută tot în 1905. Nu era menționată deloc relativitatea, considerată prea controversată. (Eu încă mai primesc două-trei scrisori pe săptămînă care susțin că Einstein a greșit.) Acum teoria relativității e însă acceptată de comunitatea științifică, iar previziunile ei au fost verificate în nenumărate aplicații.





Fig. 1.7

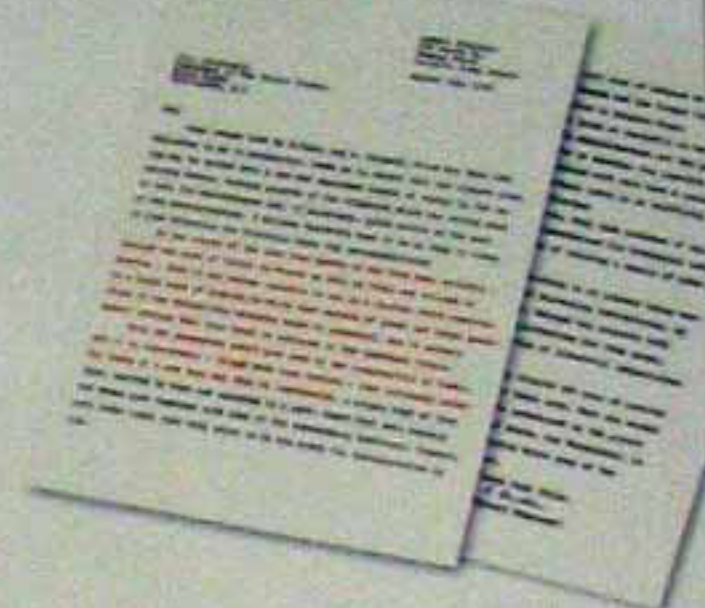
$$E=mc^2$$



O consecință foarte importantă a relativității e relația dintre masă și energie. Din postulatul lui Einstein conform căruia viteza luminii trebuie să fie aceeași pentru toți, rezultă că nimic nu se poate deplasa mai repede decât lumina. Dacă se folosește energie pentru a accelera un corp, fie că e o particulă, fie că e un vehicul spațial, masa corpului crește, astfel încât e tot mai greu să-l accelerezi în continuare. Accelerarea unei particule pînă la viteza luminii ar fi imposibilă, fiindcă ar cere o cantitate infinită de energie. Masa și energia sînt echivalente, după cum rezumă celebra ecuație a lui Einstein  $E = mc^2$  (Fig. 1.7). Aceasta e probabil singura ecuație din fizică recunoscută de orice trecător de pe stradă. Printre consecințele sale a fost înțelegerea faptului că, dacă nucleul atomului de uraniu fisionează în două nuclee cu masa totală ceva mai mică, acest proces va elibera o cantitate impresionantă de energie (vezi paginile 14-15, Fig. 1.8).

În 1939, sub amenințarea unui nou război mondial, un grup de oameni de știință care înțelegeau aceste consecințe l-a convins pe Einstein să-și învingă scrupulele pacifiste și să-și folo-





## SCRISOAREA PROFETICĂ A LUI EINSTEIN ADRESATĂ PREȘEDINTELUI ROOSEVELT ÎN 1939

„În cursul ultimelor patru luni, a devenit posibil – prin lucrările lui Joliot în Franța și ale lui Fermi și Szilard în America – să se provoace o reacție nucleară în lanț într-o masă mare de uraniu, prin care să fie generate mari cantități de putere și de elemente noi asemănătoare radiului. Acum este aproape sigur că acestea pot fi realizate în viitorul imediat.

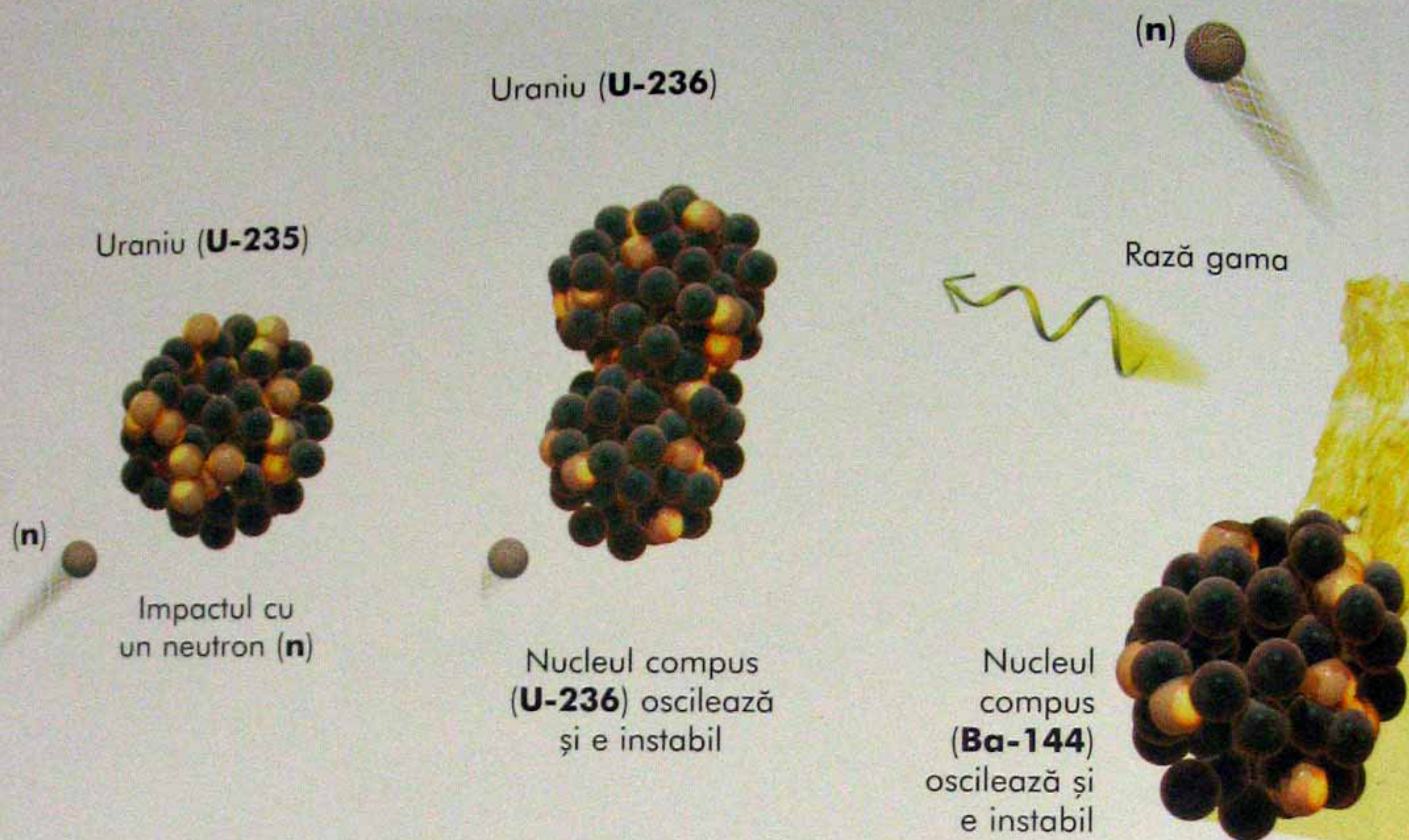
Acest fenomen nou ar putea duce de asemenea la fabricarea de bombe și e de conceput – deși mult mai puțin sigur – ca să fie fabricate bombe de un nou tip, extrem de puternice.”

sească autoritatea adresându-i președintelui Roosevelt o scrisoare prin care să îndemne Statele Unite să demareze un program de cercetare nucleară.

Ca rezultat, a apărut Proiectul Manhattan, iar în cele din urmă s-au fabricat bombele care au explodat deasupra orașelor Hiroshima și Nagasaki în 1945. Mulți l-au învinuit pe Einstein pentru bomba atomică, fiindcă a descoperit relația dintre masă și energie, dar e ca și cum l-ai învinui pe Newton pentru prăbușirea avioanelor, fiindcă a descoperit gravitația. Einstein însuși nu a luat parte la Proiectul Manhattan și a fost îngrozit de lansarea bombelor.

Lucrările din 1905, care au deschis noi perspective, i-au asigurat lui Einstein o reputație științifică bine stabilită, dar abia în 1909 i s-a oferit la Universitatea din Zürich un post care i-a permis să părăsească Biroul elvețian de brevete. Doi ani mai târziu, s-a mutat la Universitatea Germană din Praga, dar a revenit la Zürich în 1912, de data asta la ETH. În ciuda antisemitismului răspândit într-o mare parte a Europei, chiar și în universități, Einstein reprezenta acum un tezaur acade-





(Fig. 1.8)

## ENERGIA DE LEGĂTURĂ NUCLEARĂ

Nucleele sînt alcătuite din protoni și neutroni ținuti laolaltă de o forță tare. Dar masa nucleului e întotdeauna mai mică decît suma maselor individuale ale protonilor și neutronilor din care e compus. Diferența e o măsură a energiei de legătură a nucleului care menține nucleul legat. Această energie de legătură poate fi calculată din relația lui Einstein: energia de legătură nucleară  $= \Delta mc^2$ , unde  $\Delta m$  este diferența dintre masa nucleului și suma maselor individuale.

Eliberarea acestei energii potențiale creează forța explozivă devastatoare a unui dispozitiv nuclear.

mic. A primit oferte de la Viena și Utrecht, dar a preferat un post de cercetător la Academia de Științe a Prusiei din Berlin, fiindcă nu avea obligații didactice. S-a mutat la Berlin în aprilie 1914, fiind urmat la scurt timp de soție și de cei doi fii. Căsnicia mergea cam rău de la o vreme, așa încît familia s-a întors destul de repede la Zürich. Deși Einstein i-a vizitat din cînd în cînd, cei doi soți au divorțat în cele din urmă. Mai tîrziu, Einstein s-a căsătorit cu verișoara sa Elsa, care locuia la Berlin. Faptul că în anii războiului a fost celibatar, fără obligații casnice, poate fi unul dintre motivele pentru care în această perioadă a fost atît de productiv științific.

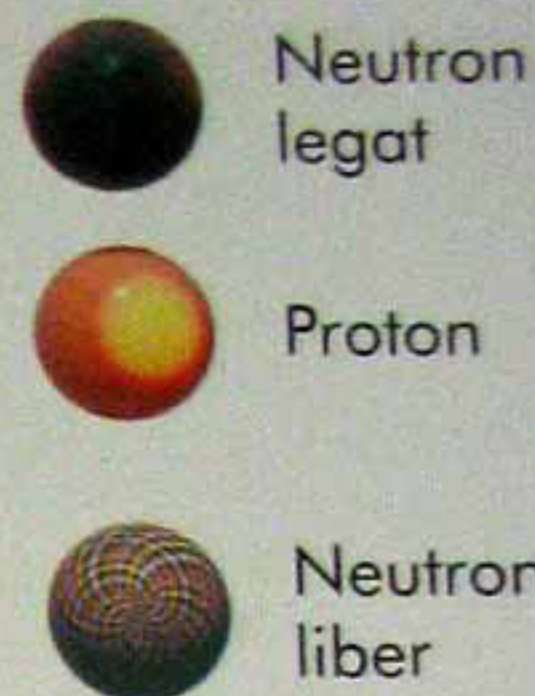
Deși teoria relativității se potrivește bine cu legile care guvernează electricitatea și magnetismul, ea nu e compatibilă cu legea newtoniană a gravitației. Această lege spune că, dacă distribuția materiei dintr-o regiune a spațiului se schimbă, schimbarea cîmpului gravitațional ar fi resimțită instantaneu oriunde în univers. Rezultă nu numai că ar fi posibil să trimiți semnale mai rapide decît viteza luminii (fapt interzis de teoria relativității), ci și că, pentru a înțelege ce înseamnă „instantaneu”, ar fi nevoie de timpul absolut, sau universal, pe care relativitatea l-a înlăturat în favoarea timpului personal.



Nucleul compus (**Kr-89**)  
oscilează și e instabil

Fisiunea produce în medie  
2,4 neutroni și o energie  
de 215 Mev

Relația lui Einstein dintre  
energie (E), masă (m) și  
viteza luminii (c)  
ne spune că  
o mică fracțiune de masă  
este echivalentă cu o  
cantitate enormă de energie:  
 $E = mc^2$



(n) neutronii pot  
iniția o reacție în lanț

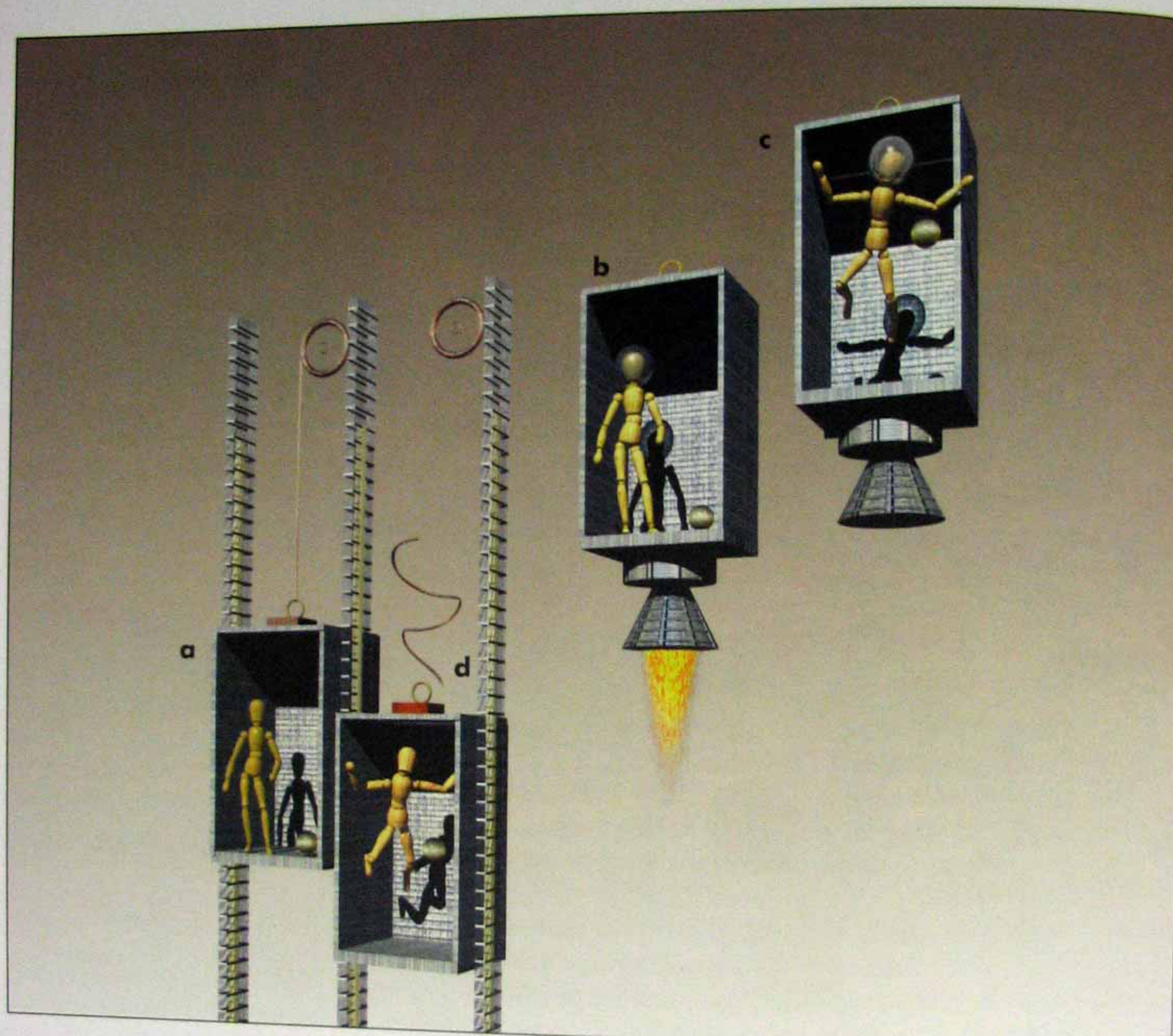
Rază gama

(n)

### REACȚIE ÎN LANT

Un neutron provenit din fisiunea nucleului inițial U-235 se ciocnește cu un alt nucleu. Acest impact îi provoacă, la rândul său, fisiunea și astfel începe o reacție în lanț de ciocniri succesive. Dacă reacția se autoîntreține, aceasta este numită „critică”, iar masa de U-235 se numește „masă critică”.





(Fig. 1.9)

Un observator aflat într-o cutie nu poate sesiza diferența între a se afla pe Pământ într-un lift oprit **(a)** sau a fi accelerat de o rachetă în spațiul liber **(b)**.

Dacă motorul rachetei este oprit **(c)**, e ca și cum liftul ar fi în cădere liberă către fundul puțului **(d)**.

Einstein era conștient de această dificultate din 1907, pe când lucra încă la Biroul de brevete de la Berna, dar a început să se gândească serios la ea abia la Praga, în 1911. El a înțeles că între accelerație și câmpul gravitațional există o legătură. Cineva închis într-o cutie, ca într-un lift, nu poate spune dacă se află în repaus în câmpul gravitațional terestru sau e accelerat de o rachetă în spațiul liber. (Desigur, aceasta se întâmpla înaintea epocii lui *Star Trek*, așa încât Einstein se gândea la oameni în lifturi, nu în nave spațiale.) Dar nu poți accelera sau cădea liber cu un lift decât în caz de accident (Fig. 1.9).





Fig. 1.10

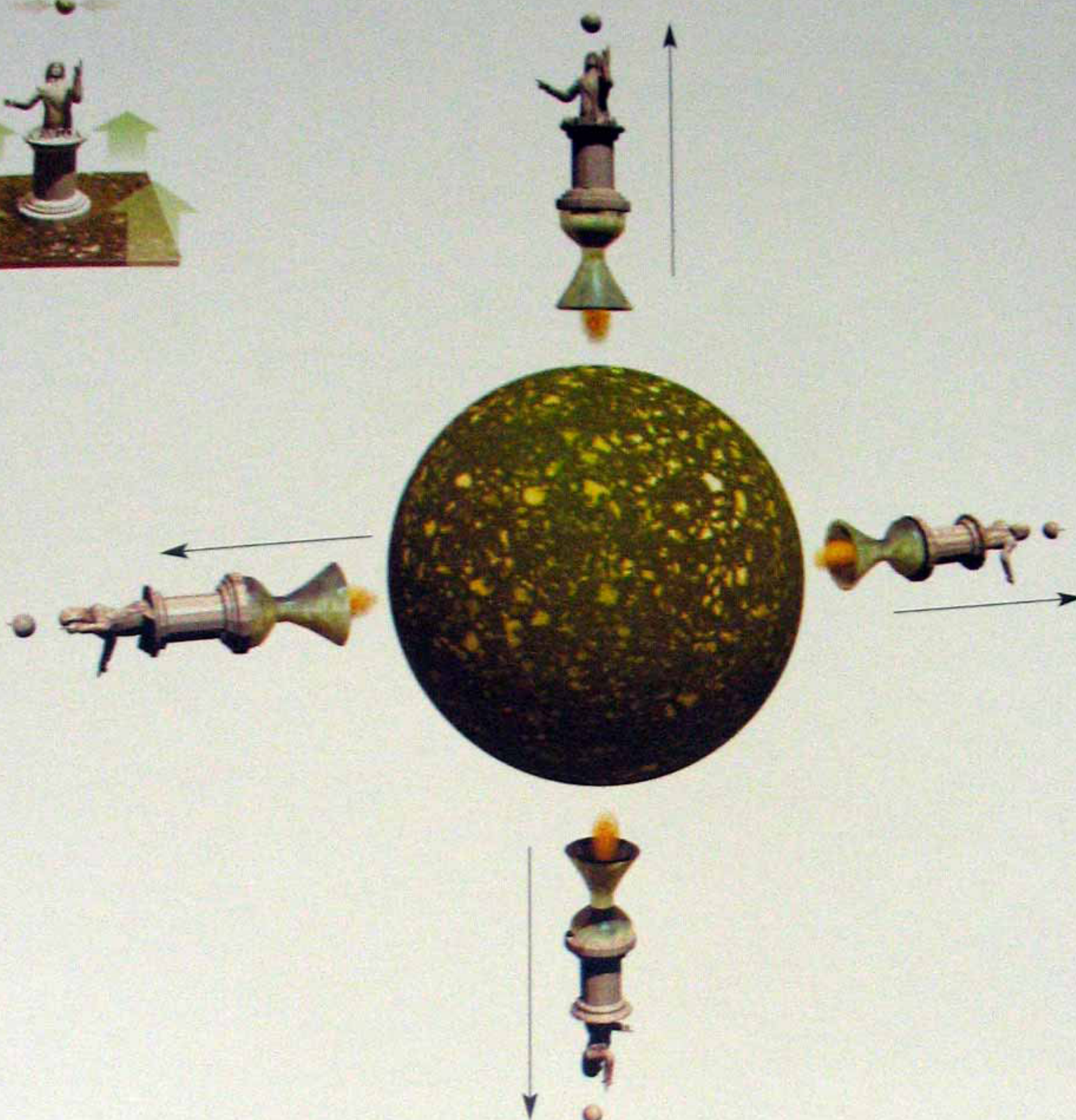


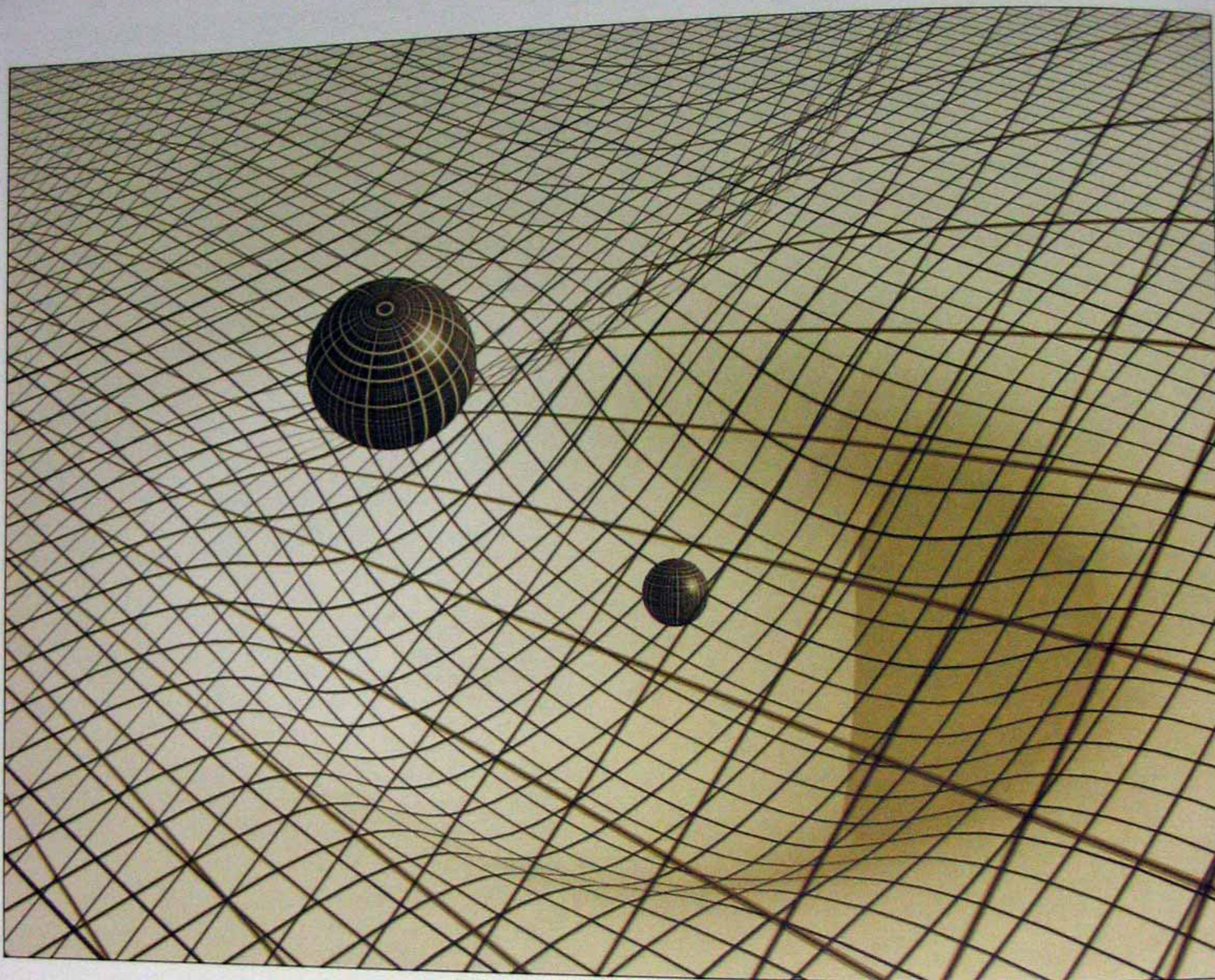
Fig. 1.11

Dacă Pământul ar fi plat, am putea spune la fel de bine că mărul i-a căzut lui Newton în cap din cauza gravitației sau fiindcă Newton și suprafața Pământului au fost accelerați în sus (Fig. 1.10). Această echivalență între accelerație și gravitație nu părea valabilă pentru un Pământ rotund; oamenii din părțile opuse ale globului ar fi trebuit să fie accelerați în direcții opuse, dar rămânând la o distanță constantă unul de altul (Fig. 1.11).

Revenind la Zürich în 1912, Einstein a avut însă un moment de inspirație și a înțeles că echivalența ar putea fi valabilă dacă geometria spațiu-timpului ar fi curbă și nu plată,

Dacă Pământul ar fi plat (Fig. 1.10), am putea spune că mărul i-a căzut lui Newton în cap din cauza gravitației sau că Pământul și Newton au fost accelerați în sus. Această echivalență nu e valabilă în cazul unui Pământ sferic (Fig. 1.11), fiindcă oamenii din părțile opuse ale Pământului ar ajunge departe unii de alții. Einstein a învins această dificultate considerând că spațiul și timpul sînt curbate.





(Fig. 1.12)  
CURBELE SPAȚIU-TIMPULUI

Accelerația și gravitația pot fi echivalente numai dacă un corp masiv curbează spațiu-timpul, îndoind prin urmare traiectoriile obiectelor din apropiere.

cum fusese considerată pînă atunci. Ideea lui a fost că masa și energia ar distorsiona spațiu-timpul într-un mod ce trebuia determinat. Obiecte ca merele sau planetele ar tinde să se miște în linie dreaptă prin spațiu-timp, dar traiectoriile lor ar apărea îndoite de gravitație pentru că spațiu-timpul e curb (Fig. 1.12).

Cu ajutorul prietenului său Marcel Grossmann, Einstein a studiat teoria spațiilor și suprafețelor curbe care fusese dezvoltată de Georg Friedrich Riemann. Dar Riemann s-a gîndit numai la un spațiu curb. Einstein a înțeles că spațiu-timpul era cel care trebuie să fie curb. În 1913, Einstein și Grossmann au scris o lucrare în care avansează ideea că ceea ce noi considerăm a fi forțele gravitaționale nu sînt decît expresia faptului că spațiu-timpul este curbat. Dar, din cauza unei erori a lui





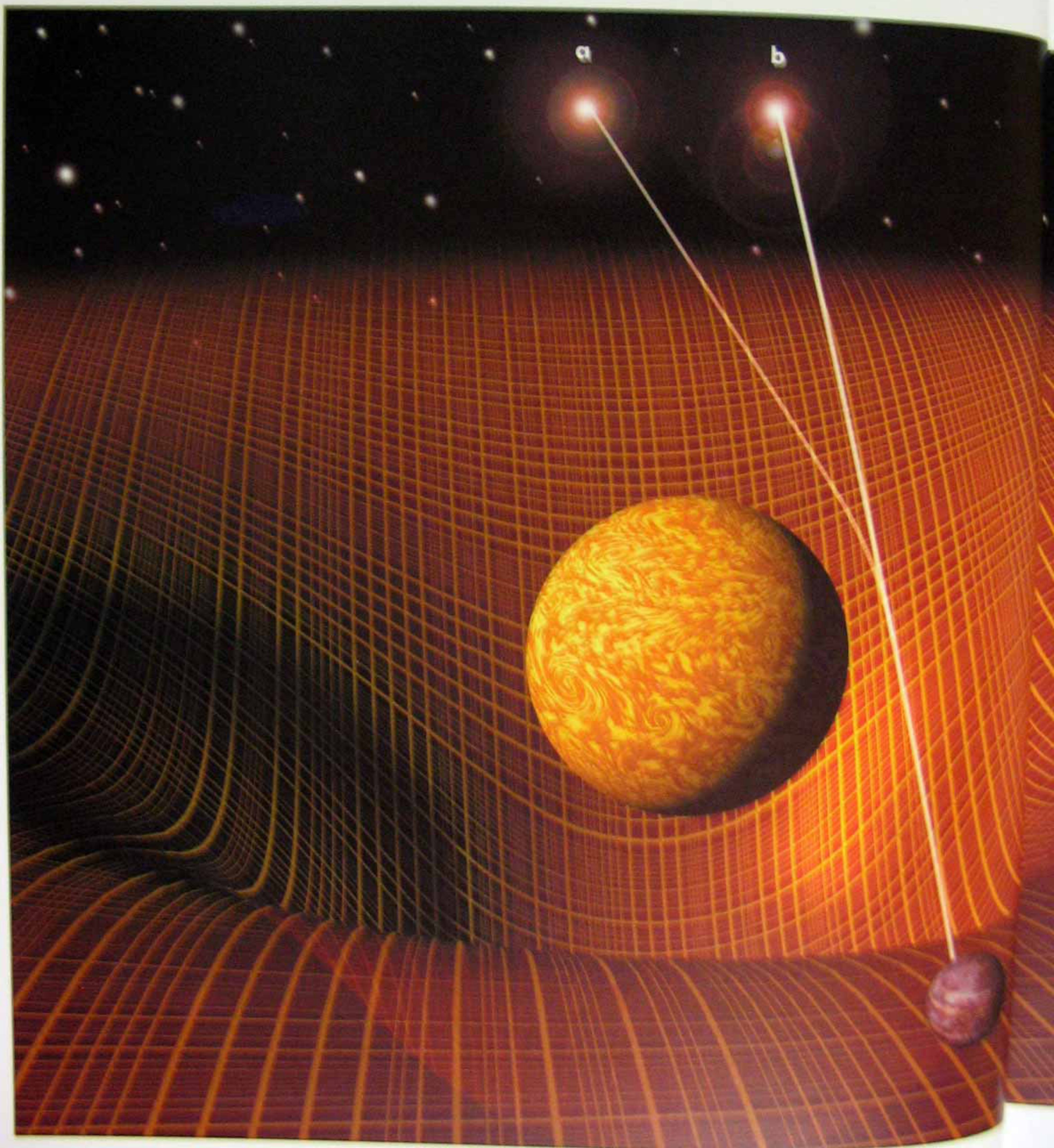
Profeșor Einstein

Einstein (era și el un om supus greșelii), ei n-au reușit să găsească ecuațiile care să lege curbura spațiu-timpului de masa și energia din el. Einstein și-a continuat munca la Berlin, neperturbat de grijile casnice și fără să fie prea afectat de război, pînă cînd a descoperit ecuația corectă în noiembrie 1915. În timpul unei vizite la Universitatea din Göttingen în vara lui 1915, a discutat ideea cu matematicianul David Hilbert, iar acesta din urmă a găsit în mod independent aceeași ecuație cu cîteva zile înaintea lui Einstein. Dar, așa cum a susținut Hilbert însuși, paternitatea noii teorii îi aparținea lui Einstein. Ideea de a pune în legătură gravitația cu deformarea spațiu-timpului a fost a lui. Faptul că asemenea discuții științifice și schimburi de idei puteau avea loc netulburate chiar și în plin război s-a datorat nivelului de civilizație din Germania aceluia timp. Contrastul cu ce avea să se întîmple două decenii mai tîrziu, în epoca nazistă, e izbitor.

Noua teorie a spațiu-timpului curbat a primit numele de relativitate generală, pentru a o deosebi de teoria inițială, care nu includea gravitația, cunoscută acum sub numele de relativitate restrînsă. Relativitatea generală a fost confirmată spectaculos în 1919, cînd o expediție britanică în Africa de Vest a observat cum raza de lumină de la o stea aflată lîngă Soare în

Albert Ein









(Fig. 1.13) CURBE DE LUMINĂ

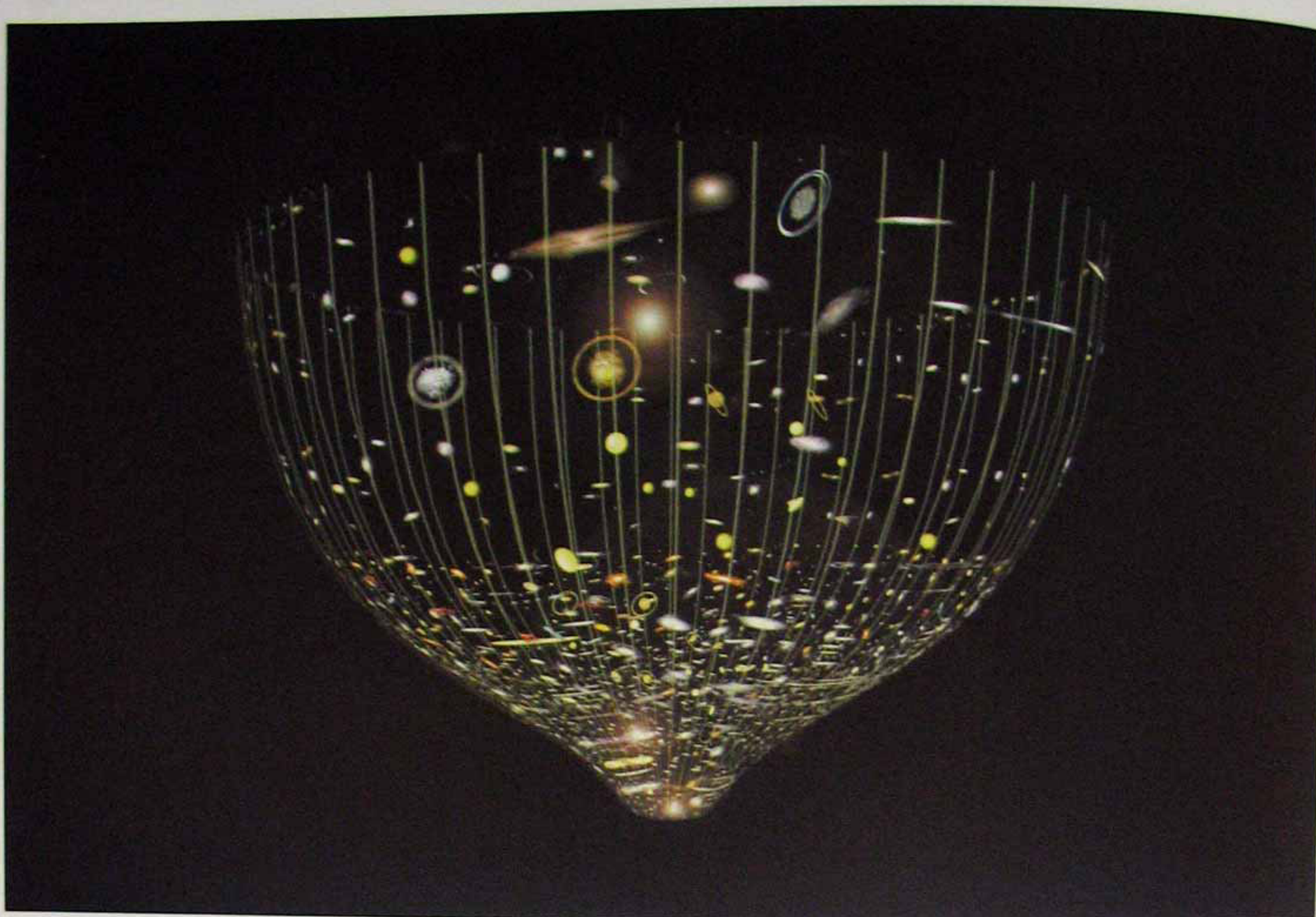
Lumina de la o stea din apropierea Soarelui e deviată din cauza modului în care masa lui curbează spațiu-timpul **(a)**. Aceasta duce la o deplasare a poziției aparente a stelei, așa cum e văzută de pe Pământ **(b)**. Fenomenul poate fi observat în timpul unei eclipse.

timpul unei eclipse e ușor curbată (Fig. 1.13). Aceasta era dovada directă a faptului că spațiul și timpul sînt curbate; astfel a fost provocată cea mai mare schimbare în percepția noastră privind universul în care trăim, de la *Elementele de geometrie*, cartea lui Euclid scrisă în jurul anului 300 î. Cr.

Teoria generală a relativității a lui Einstein a transformat spațiul și timpul dintr-un cadru pasiv în care au loc evenimentele, în participanți activi la dinamica universului. Această teorie a pus o importantă problemă care rămîne deschisă în fața fizicii secolului XXI. Universul e plin cu materie, iar materia curbează spațiu-timpul, astfel încît toate corpurile cad unul spre altul. Einstein a descoperit că ecuațiile sale nu aveau o soluție care să descrie un univers static, neschimbător în timp. În loc să renunțe la un astfel de univers înțepenit, în care el și mulți alții credeau, a modificat ecuațiile, adăugînd un termen numit constantă cosmologică, al cărei rol era să îndoaie spațiu-timpul în partea opusă, așa încît corpurile să se depărteze unul de altul. Efectul repulsiv al constantei cosmologice putea compensa efectul atractiv al materiei, permițînd astfel o soluție statică pentru univers. Așa s-a pierdut una dintre cele mai mari șanse pentru fizica teoretică. Dacă Einstein s-ar fi oprit la ecuațiile sale de la început, ar fi putut prezice că universul fie se extinde, fie se contractă. Dar posibilitatea ca universul să se modifice în timp nu a fost luată în serios pînă la observațiile din anii '20, efectuate cu telescopul de o sută de țoli de la Mount Wilson.

Aceste observații au dezvăluit că galaxiile se depărtează de noi: cu cît o galaxie e mai departe, cu atît se îndepărtează mai repede. Universul se dilată, distanța dintre două galaxii crescînd proporțional cu timpul (Fig. 1.14, pag. 22). Această descoperire a făcut inutilă constanta cosmologică introdusă spre a obține o soluție statică pentru univers. Mai tîrziu, Einstein a considerat constanta cosmologică drept cea mai mare greșeală a vieții sale. Acum se pare însă că n-a fost o greșeală: observații recente menționate în capitolul 3 sugerează că s-ar putea într-adevăr să existe o constantă cosmologică mică.





(Fig. 1.14)

Observarea galaxiilor arată că universul se extinde; distanța dintre aproape orice pereche de galaxii crește.

Relativitatea generală a schimbat complet discuția despre originea și viitorul universului. Un univers static ar fi putut exista dintotdeauna sau ar fi putut fi creat în forma sa actuală cândva în trecut. Dar, dacă în prezent galaxiile se depărtează una de alta, înseamnă că în trecut ele au fost mai aproape una de alta. Cu circa cincisprezece miliarde de ani în urmă, galaxiile ar fi fost una într-alta, iar densitatea materiei ar fi fost foarte mare. Preotul catolic Georges Lemaître, primul care a studiat originea universului — cunoscută azi sub numele de marea explozie (big bang) —, a denumit această stare „atomul primordial”.

Se pare că Einstein nu a luat niciodată în serios marea explozie. El a crezut probabil că modelul simplu al universului care se extinde uniform va eșua dacă se urmărește înapoi în timp mișcarea galaxiilor și că viteza lor periferică mică le-ar face să treacă una pe lângă alta. A crezut că universul ar fi putut cunoaște o fază anterioară de contracție, cu un salt către actuala expansiune pornind de la o densitate mult mai moderată. Acum știm însă că, pentru ca reacțiile nucleare din uni-



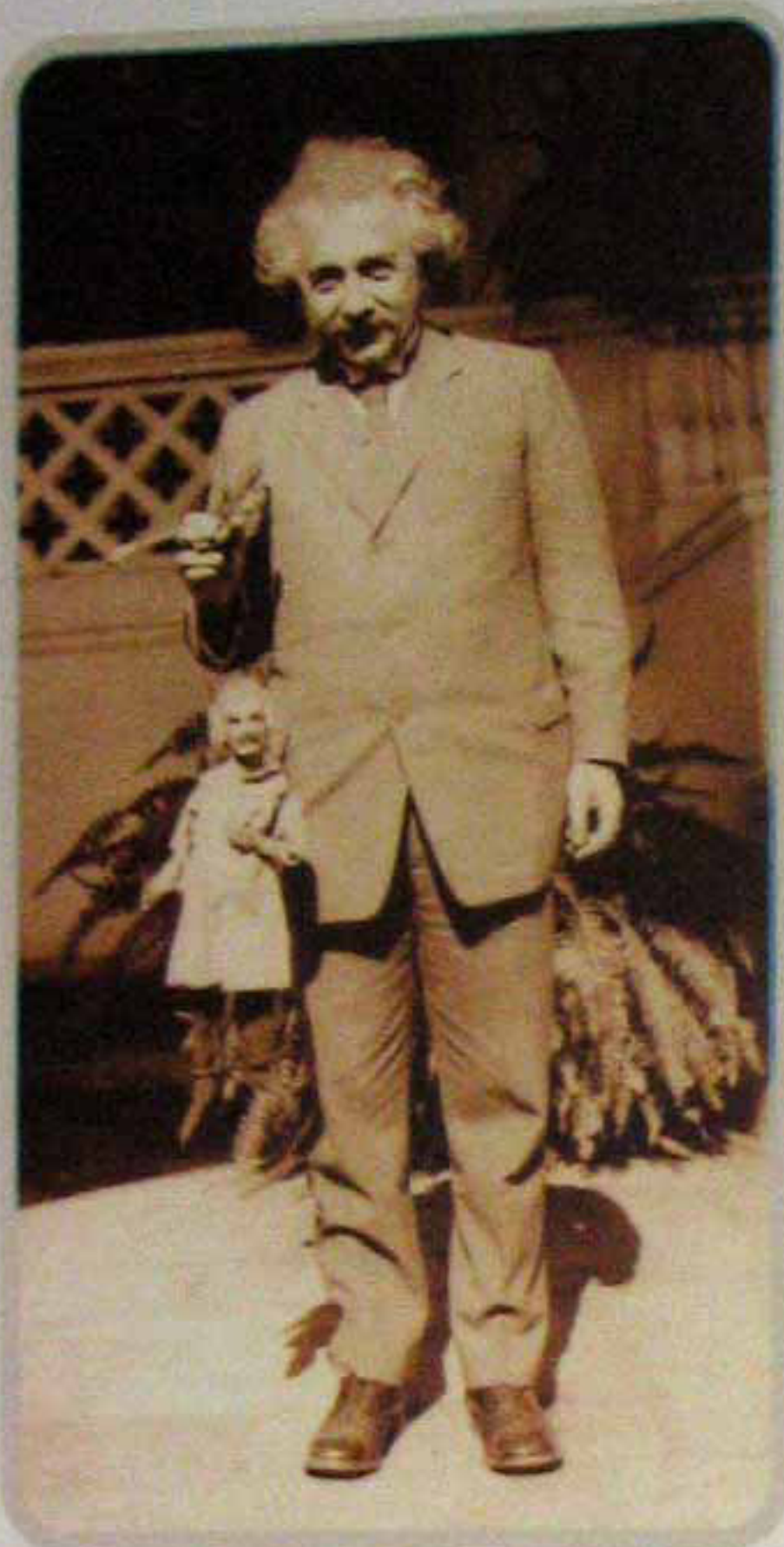


*Telescopul Hooker  
de 100 de țoli  
de la Observatorul  
Mount Wilson*

versul timpuriu să producă acea cantitate de elemente ușoare pe care le observăm în jurul nostru, densitatea de materie trebuie să fi fost de cel puțin o sută de tone pe centimetru cub, iar temperatura de zece miliarde de grade. Apoi, observarea fondului de microunde arată că probabil densitatea a fost cândva de un trilion de trilioane de trilioane de trilioane de trilioane de trilioane (adică unu urmat de 72 de zerouri) de tone pe centimetru cub. Mai știm și că teoria generală a relativității a lui Einstein nu permite universului să sară dintr-o fază de contracție la expansiunea actuală. După cum vom vedea în capitolul 2, Roger Penrose și cu mine am reușit să arătăm că relativitatea generală prezice că big bang-ul este originea universului. Astfel, teoria lui Einstein prezice că timpul are un început, deși autorul ei a privit întotdeauna cu suspiciune această idee.

Lui Einstein i-a fost și mai greu să accepte că relativitatea generală prezice sfârșitul timpului pentru stelele masive, atunci când ele ajung la sfârșitul vieții lor și nu mai generează destulă căldură pentru a compensa forța propriei gravitații, care are tendința să le reducă dimensiunile. Einstein a crezut că astfel





Albert Einstein, cu o păpușă reprezentându-l pe el însuși, la scurt timp după stabilirea sa în America.

Particulele minuscule nu mai aveau o poziție și o viteză determinate. Cu cât se determină mai precis poziția unei particule, cu atât mai puțin precis se poate determina viteza acesteia și invers. Einstein a fost îngrozit de acest element aleator, imprevizibil al legilor fundamentale și nu a acceptat niciodată pe deplin mecanica cuantică. El și-a exprimat sentimentele în faimosul dicton „Dumnezeu nu dă cu zarul”. Majoritatea oamenilor de știință au acceptat totuși validitatea noilor legi cuantice, pentru că explicau o serie întreagă de fenomene nelămurite anterior și pentru că erau în excelent acord cu observațiile. Aceste legi constituie baza dezvoltării moderne a chimiei, biologiei moleculare și electronicii, precum și a tehnologiei care a transformat lumea în ultimii 50 de ani.

În decembrie 1932, conștient că naziștii și Hitler erau pe punctul de a veni la putere, Einstein părăsește Germania și, patru luni mai târziu, renunță la cetățenia germană, petrecându-și ultimii douăzeci de ani de viață la Institutul de Studii Avansate de la Princeton, New Jersey.

În Germania, naziștii au lansat o campanie împotriva „științei evreiești” și a multor savanți germani care erau evrei, acesta fiind unul din motivele pentru care Germania nu a fost în stare să producă bomba atomică. Ținta principală a acestei campanii au constituit-o Einstein și relativitatea. Când i s-a spus despre publicarea unei cărți intitulată *100 de autori împotriva lui Einstein*, el a replicat: „De ce o sută? Dacă aș fi greșit, unul era de-ajuns.” După cel de-al doilea război mondial, i-a îndemnat pe aliați să instituie un guvern mondial pentru a controla bomba atomică. În 1948, i s-a oferit președinția nou-creatului stat Israel, dar Einstein a refuzat. El a spus că „Politica ține de moment, dar o ecuație e pentru eternitate”. Ecuațiile relativității generale ale lui Einstein constituie cel mai bun epitaf și memento pentru el. Ele vor dăinui atât cât va dăinui universul.

În ultima sută de ani, lumea s-a schimbat mai mult decât în oricare din secolele anterioare. Nu vreo nouă doctrină politică sau economică a fost cauza, ci marile dezvoltări tehnologice, devenite posibile grație progreselor din știința fundamentală. Cine întruchipează oare aceste progrese mai bine decât Albert Einstein?







## CAPITOLUL 2

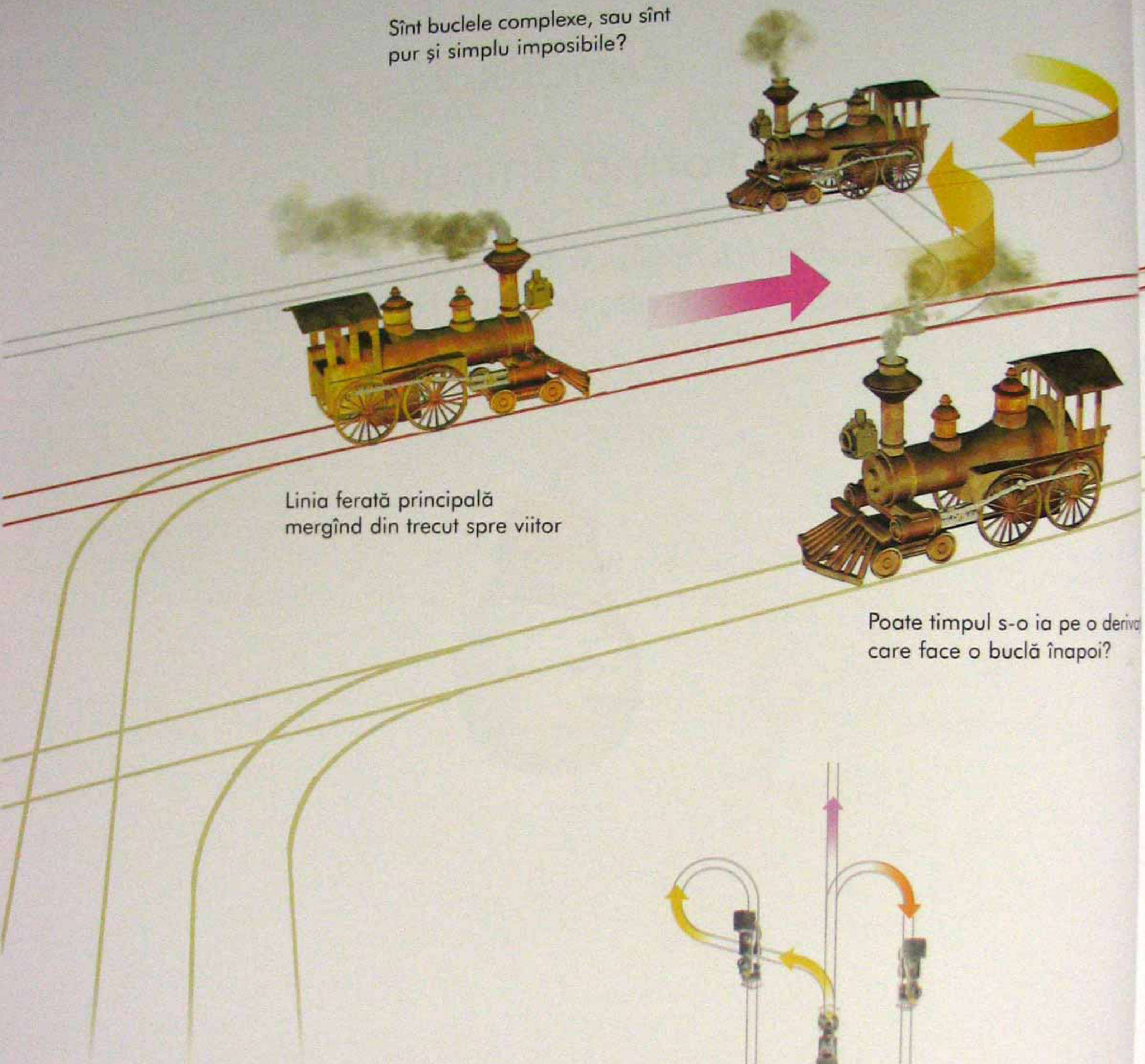
# Forma timpului

*Teoria generală a relativității a lui Einstein dă timpului o formă.  
Cum poate fi acest fapt pus de acord cu teoria cuantică.*



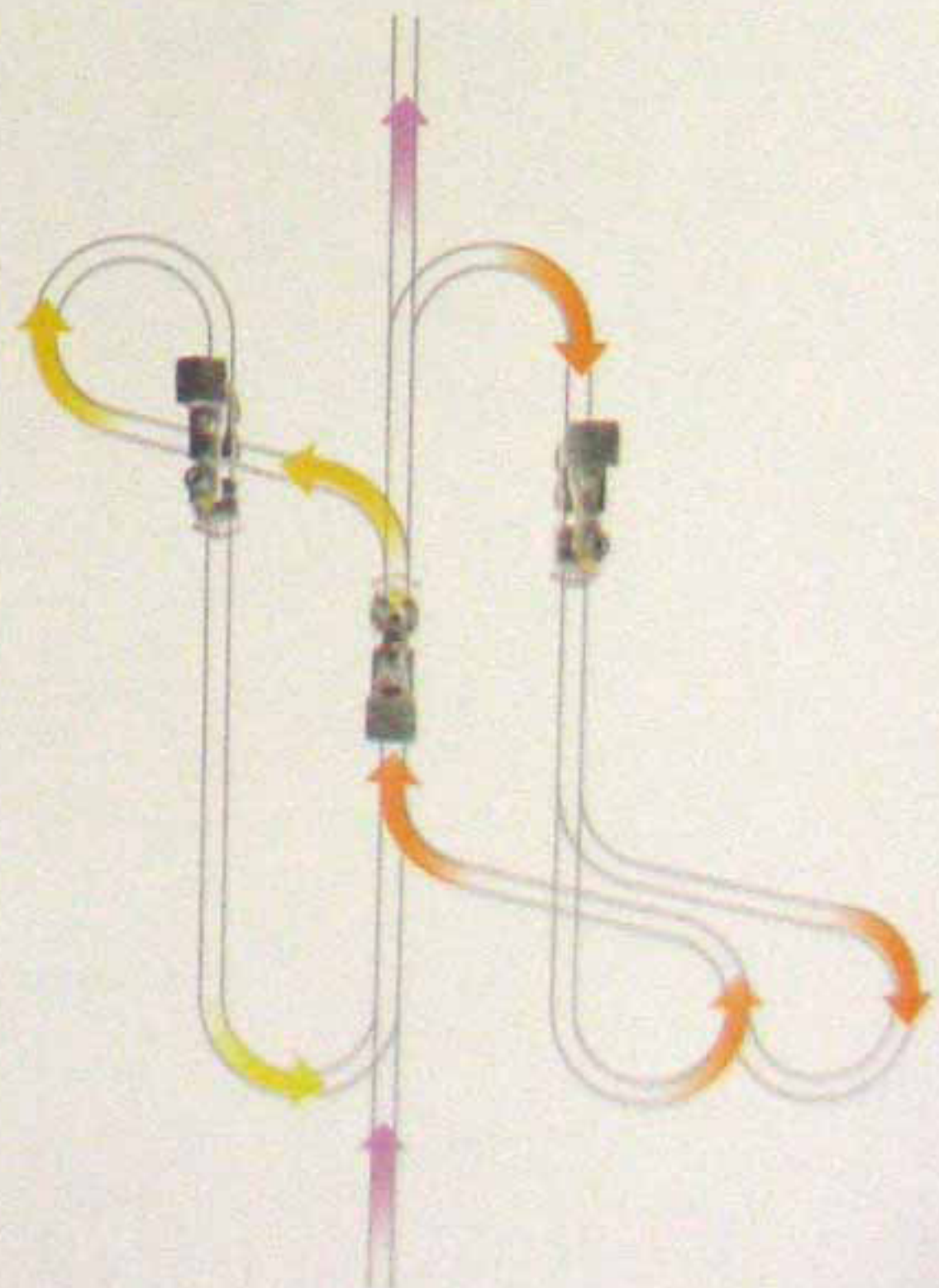


Sînt bucele complexe, sau sînt  
pur și simplu imposibile?

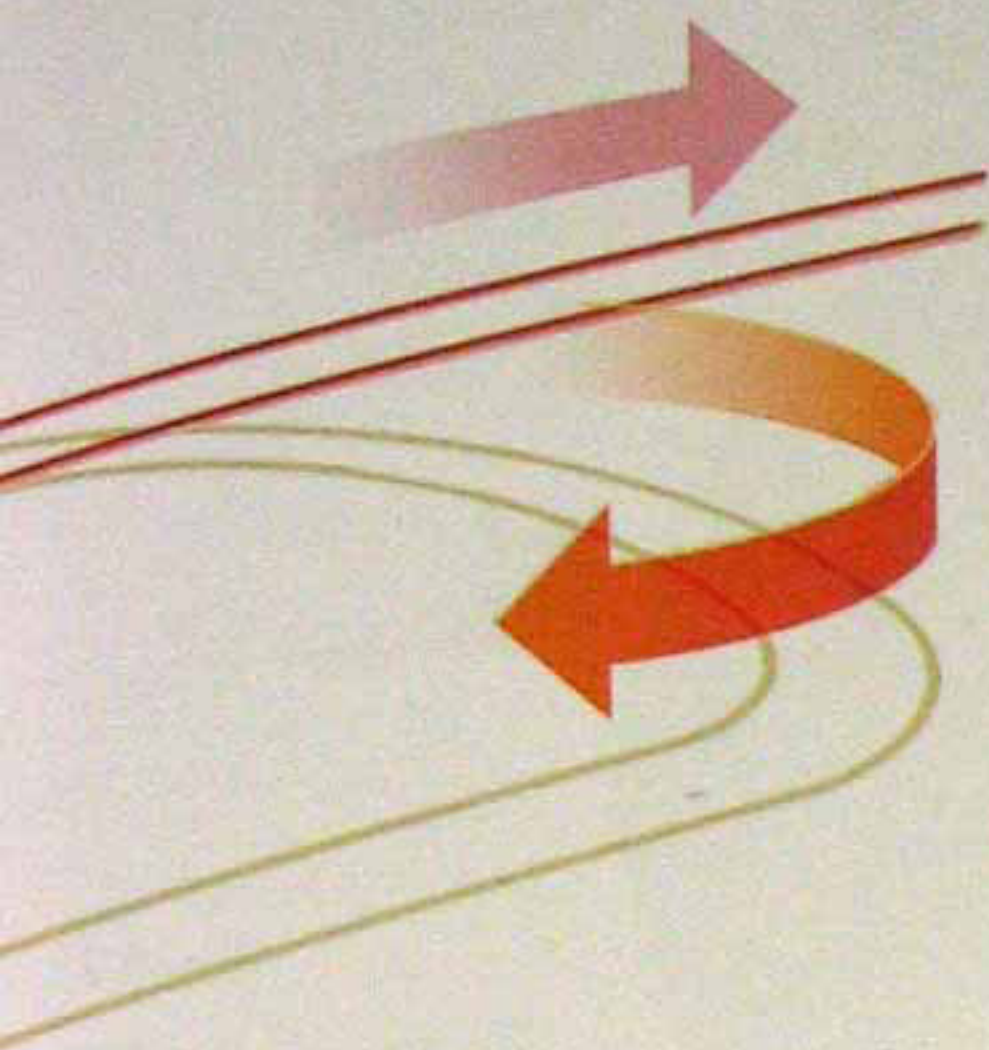


(Fig. 2.1) MODELUL TIMPULUI CA  
O CALE FERATĂ

Dar este oare timpul asemenea unei linii principale  
care duce într-un singur sens — către viitor — sau  
poate să aibă o buclă înapoi, prin care să reentre pe  
linia principală, la un macaz anterior?





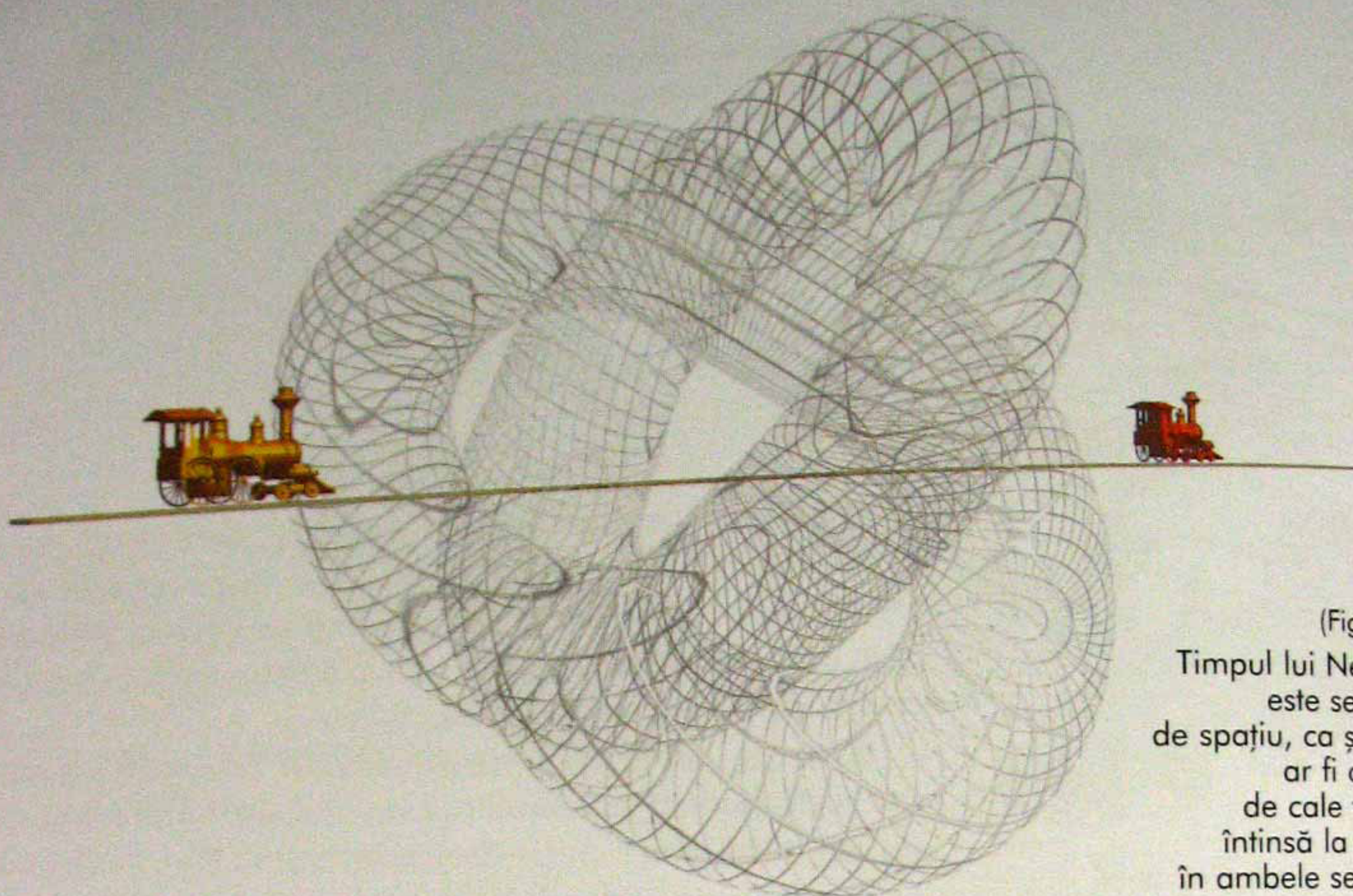


Ce este timpul? E oare un șuvoi continuu ce duce cu sine toate visele noastre, cum spune vechiul cântec? Sau e o cale ferată? Poate că ea are bucle și derivații, pe care poți merge înainte, dar te poți și întoarce la o stație anterioară de pe aceeași linie (Fig. 2.1).

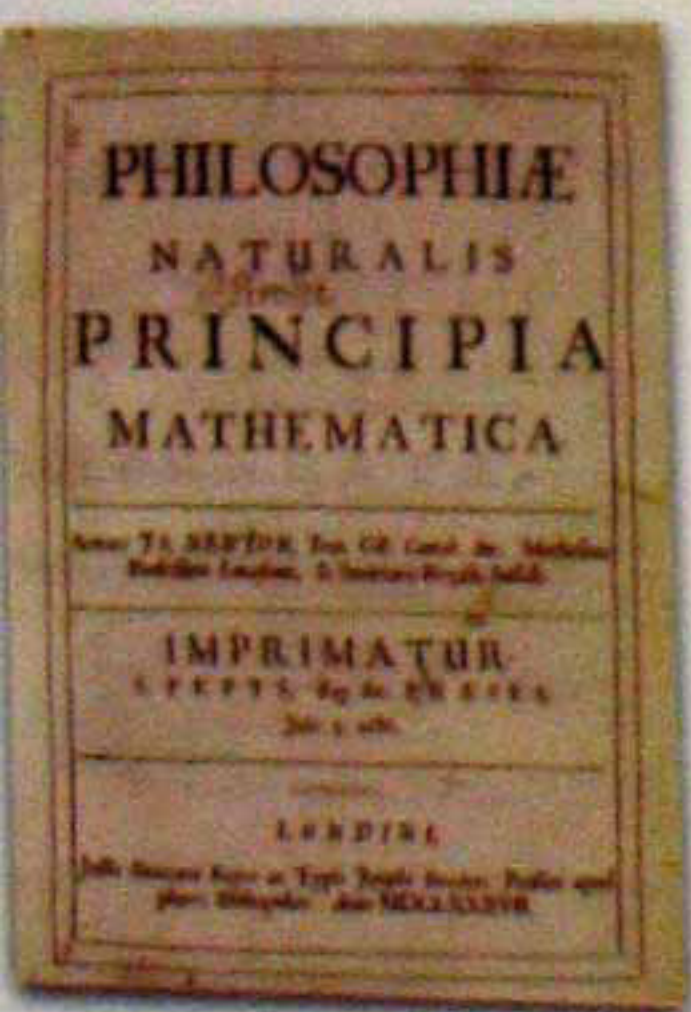
Charles Lamb, un autor din secolul XIX, scria: „Nimic nu mă nedumerește mai mult ca timpul și spațiul. Și totuși, nimic nu mă tulbură mai puțin decât timpul și spațiul, fiindcă nu mă gândesc niciodată la ele.” Cei mai mulți dintre noi nu se sinchisesc de spațiu și timp, fie el ce-o fi, dar cu toții ne întrebăm uneori ce e timpul, cum a început el și încotro ne duce.

Cred că orice teorie științifică serioasă, fie despre timp, fie despre oricare alt concept, trebuie să se bazeze pe cea mai fertilă filozofie a științei: abordarea pozitivistă formulată de Karl Popper și de alții. Conform acestei direcții de gândire, o teorie științifică e un model matematic prin care se descriu și se codifică observațiile pe care le facem. O teorie bună va descrie un cerc larg de fenomene pe baza unui mic număr de postulate simple și va face predicții bine definite, care pot fi testate. Dacă predicțiile sînt conforme cu observațiile, teoria supraviețuiește testului, deși nu se poate demonstra niciodată că e corectă. Pe de altă parte, dacă observațiile sînt în dezacord cu predicțiile, teoria trebuie respinsă sau modificată. (Cel puțin în principiu. În practică, oamenii pun deseori la îndoială acuratețea observațiilor, gradul de credibilitate și moralitatea celor care fac observațiile.) Dacă, așa cum fac eu acum, se adoptă perspectiva pozitivistă, nu se poate spune ce e de fapt timpul. Tot ce putem face e să descriem un foarte bun model matematic obținut pentru timp și să spunem care sînt predicțiile lui.





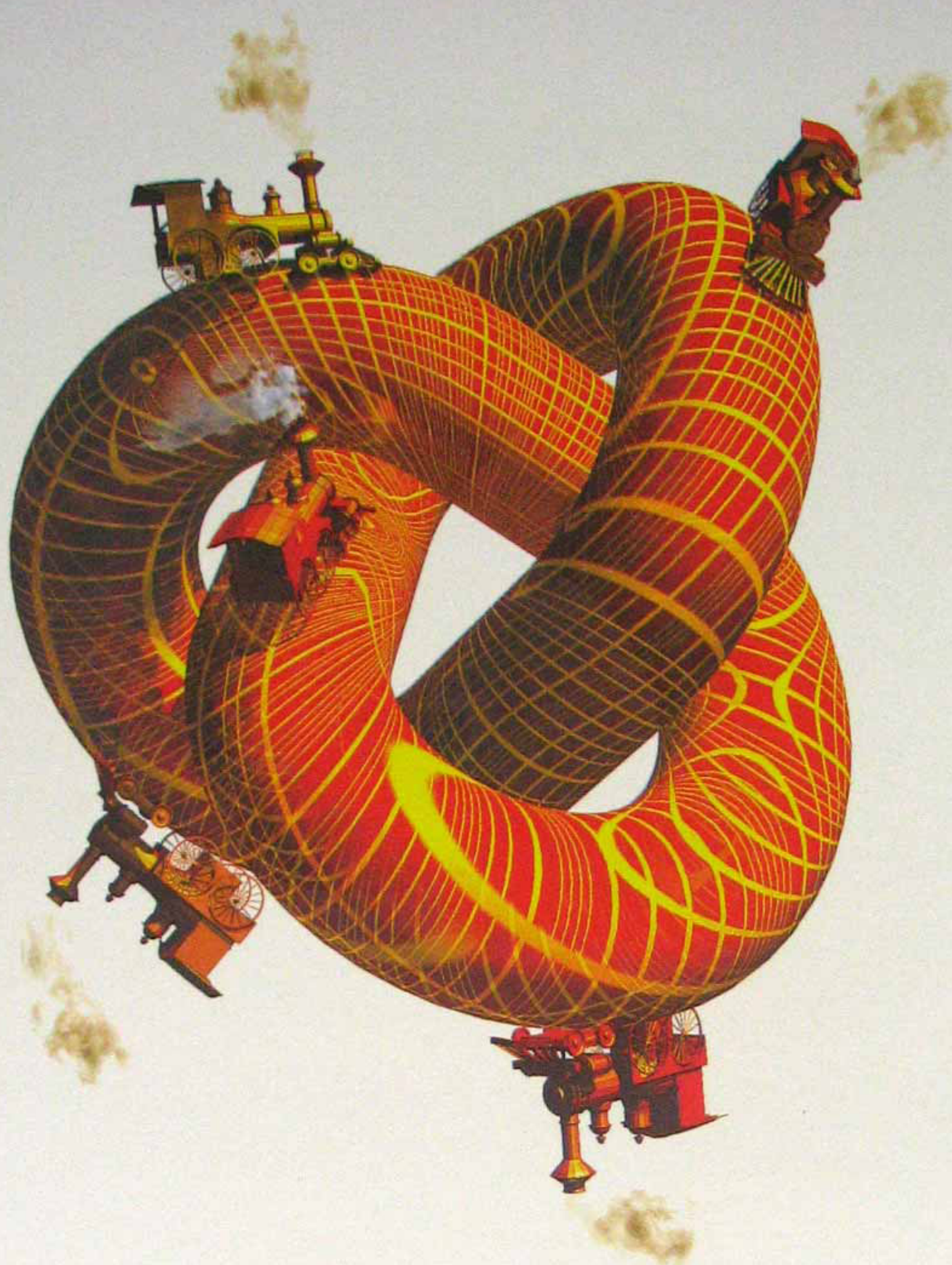
(Fig. 2.2)  
Timpul lui Newton  
este separat  
de spațiu, ca și când  
ar fi o linie  
de cale ferată  
întinsă la infinit  
în ambele sensuri.



Isaac Newton și-a publicat  
modelul matematic  
al timpului și spațiului  
cu peste 300 de ani  
în urmă.

Primul model matematic al timpului și spațiului ne-a fost oferit de Isaac Newton în cartea sa *Principia Mathematica*, publicată în 1687. Newton a fost titularul Catedrei Lucasiene de la Cambridge, pe care o ocup eu în prezent, numai că scaunul pe care-l ocupa nu era acționat electric. În modelul lui Isaac Newton, timpul și spațiul constituiau un cadru în care aveau loc evenimentele, fără să fie influențate de ele. Timpul era separat de spațiu și se considera că e o singură linie, ca de cale ferată, infinită în ambele direcții (Fig. 2.2). Timpul însuși era considerat etern, în sensul că a existat și va continua să existe pentru totdeauna. În ce privește universul fizic, cei mai mulți credeau că a fost creat într-o stare mai mult sau mai puțin asemănătoare celei actuale, cu doar câteva mii de ani în urmă. Aceasta i-a nedumerit pe filozofi, între care gânditorul german Immanuel Kant. Dacă universul a fost într-adevăr creat, atunci de ce a existat o perioadă infinită de așteptare înaintea creației? Pe de altă parte, dacă universul a existat dintotdeauna, atunci de ce tot ce urma să se întâmple nu s-a întâmplat deja, însemnând că istoria ar fi deja încheiată? În particular, de ce universul nu a atins starea de echilibru termic, tot ce continuă aflându-se la aceeași temperatură?





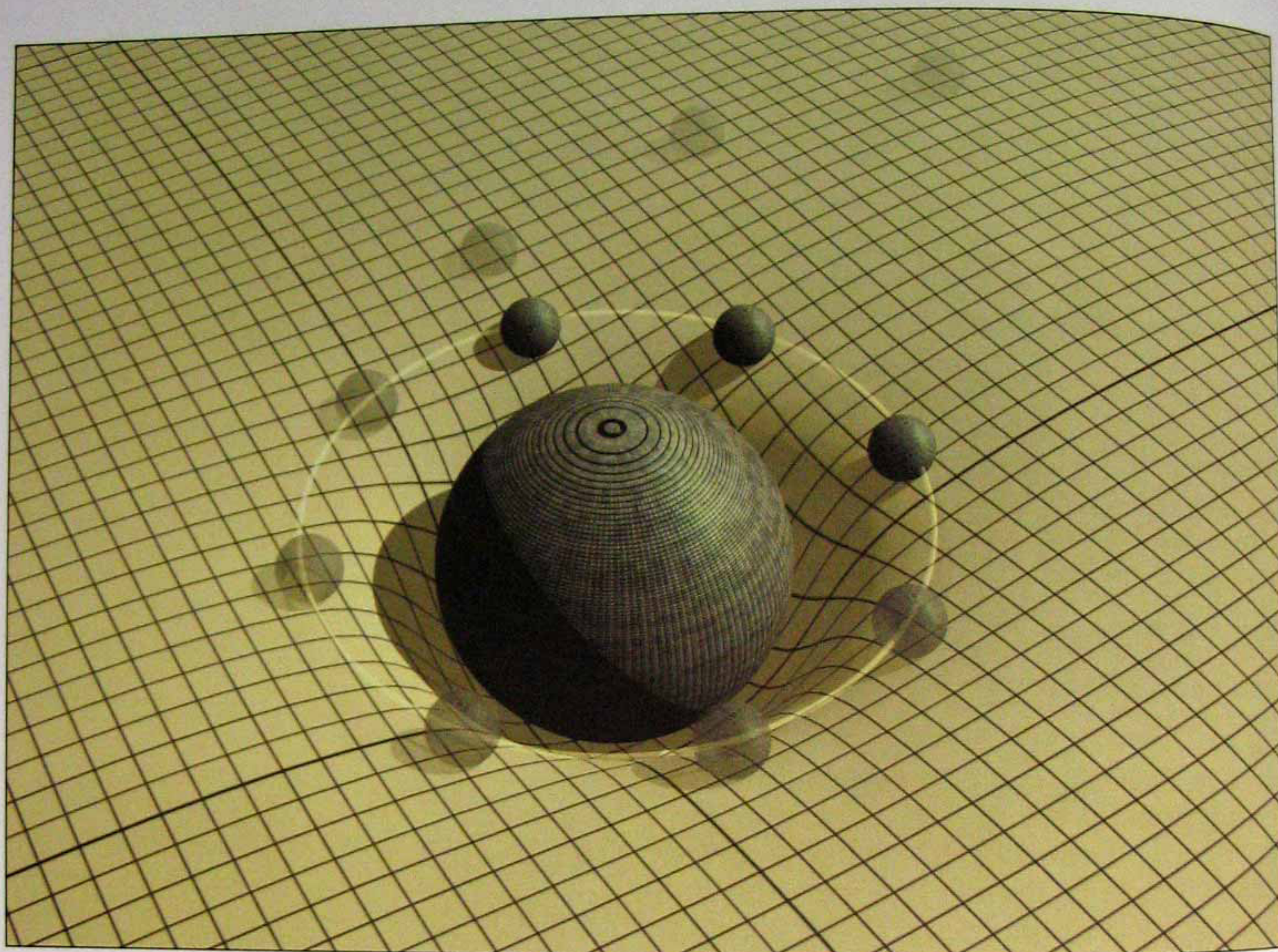
(Fig. 2.3)

#### FORMA ȘI DIRECȚIA TIMPULUI

Teoria relativității a lui Einstein, care este confirmată de un mare număr de experimente, arată că timpul și spațiul sînt indisolubil legate.

Nu se poate curba spațiul fără a se curba de asemenea și timpul. Astfel, timpul are o formă. Totuși, el pare să aibă și un singur sens, după cum arată locomotivele din desen.





(Fig. 2.4) ANALOGIA CU  
FOAIA DE CAUCIUC

Bila mare din centrul imaginii reprezintă un corp masiv, cum ar fi o stea.

Greutatea ei curbează foaia de cauciuc din vecinătate. Bilele de rulmenți care se rostogolesc pe foaie sînt deviate de această curbura și se mișcă în jurul bilei mari la fel cum orbitează planetele aflate în câmpul gravitațional al unei stele.

Kant a denumit această problemă o „antinomie a rațiunii pure”, fiindcă părea să fie o contradicție logică fără rezolvare. Era o contradicție numai în contextul modelului matematic newtonian, în care timpul era o linie infinită, indiferent ce se întîmpla în univers. Dar, așa cum am văzut în capitolul 1, în 1915 Einstein a formulat un model matematic complet nou: teoria generală a relativității. În anii care s-au scurs de-atunci, s-au adăugat cîteva detalii, însă modelul nostru asupra timpului și spațiului se bazează în continuare pe cel propus de Einstein. Acest capitol și următoarele vor arăta cum s-au dezvoltat ideile noastre în anii scurși de la lucrarea revoluționară a lui Einstein. A fost povestea de succes a muncii unui mare număr de oameni, iar eu sînt mîndru că am avut o mică contribuție.





Relativitatea generală combină dimensiunea timpului cu cele trei dimensiuni ale spațiului pentru a forma ceea ce se numește spațiu-timpul (vezi pag. 33, Fig. 2.3). Teoria încorporează efectul gravitației afirmând că distribuția materiei și energiei din univers curbează și deformează spațiu-timpul, astfel încât el nu e plat. Obiectele din acest spațiu-timp tind să se deplaseze pe linii drepte, dar, fiindcă spațiu-timpul e curbat, traiectoriile lor apar îndoite. Ele se mișcă de parcă ar fi influențate de un câmp gravitațional.

Ca analogie aproximativă, care nu trebuie însă luată *ad litteram*, închipuiți-vă o foaie de cauciuc. Pe această foaie întinsă se poate așeza o bilă mare reprezentând Soarele. Greutatea bilei apasă foaia, care se adâncește în apropierea Soarelui. Dacă rostogolim acum mici bile de rulmenți pe suprafața foi de cauciuc, ele nu se vor deplasa drept înainte, ci se vor roti în jurul greutatei mai mari, întocmai ca planetele care orbitează în jurul Soarelui (Fig. 2.4).

Analogia este incompletă, fiindcă numai o secțiune biduală a spațiului e curbată (suprafața foi de cauciuc), iar timpul rămâne neperturbat, la fel ca în teoria newtoniană. În teoria relativității, care e în acord cu un mare număr de experimente, timpul și spațiul sînt însă indisolubil legate între ele. Spațiul nu poate fi curbat fără ca timpul să fie și el implicat. Prin urmare, timpul are o formă. Curbînd spațiul și timpul, relativitatea generală le transformă din cadru pasiv în care se petrec evenimentele în participanți activi, dinamici la ce se înîmplă. În teoria newtoniană, unde timpul există independent de orice altceva, se poate pune întrebarea: Ce făcea Dumnezeu înainte de a crea universul? După cum spune Sf. Augustin, nu trebuie glumit pe această temă, cum a făcut cineva care a răspuns că „înainte, Dumnezeu pregătea Iadul pentru cei care sînt prea curioși”. E o întrebare serioasă, la care oamenii au meditat de-a lungul epocilor. După Sf. Augustin, înainte de a crea cerurile și pămîntul, Dumnezeu nu a făcut nimic. Acest răspuns e foarte aproape de ideile moderne.

Pe de altă parte, în relativitatea generală, timpul și spațiul nu există independent de univers sau unul față de celălalt. Timpul și spațiul se definesc prin măsurători în universul însuși, așa cum ar fi numărul de vibrații ale unui cristal de cuarț dintr-un ceas sau lungimea unei rigle. E ușor de conceput că timpul astfel definit, în universul însuși, trebuie să aibă o valoare minimă sau maximă — cu alte cuvinte, un început și un



Sf. Augustin, gînditorul din secolul al V-lea care considera că timpul nu a existat înaintea începutului lumii.

Pagină din *De Civitate Dei*, secolul al XII-lea. Biblioteca Laurenziana, Florența.



sfârșit. E absurd să ne întrebăm ce se întâmplă înainte de început sau după sfârșit, fiindcă asemenea valori ale timpului nu sînt definite.

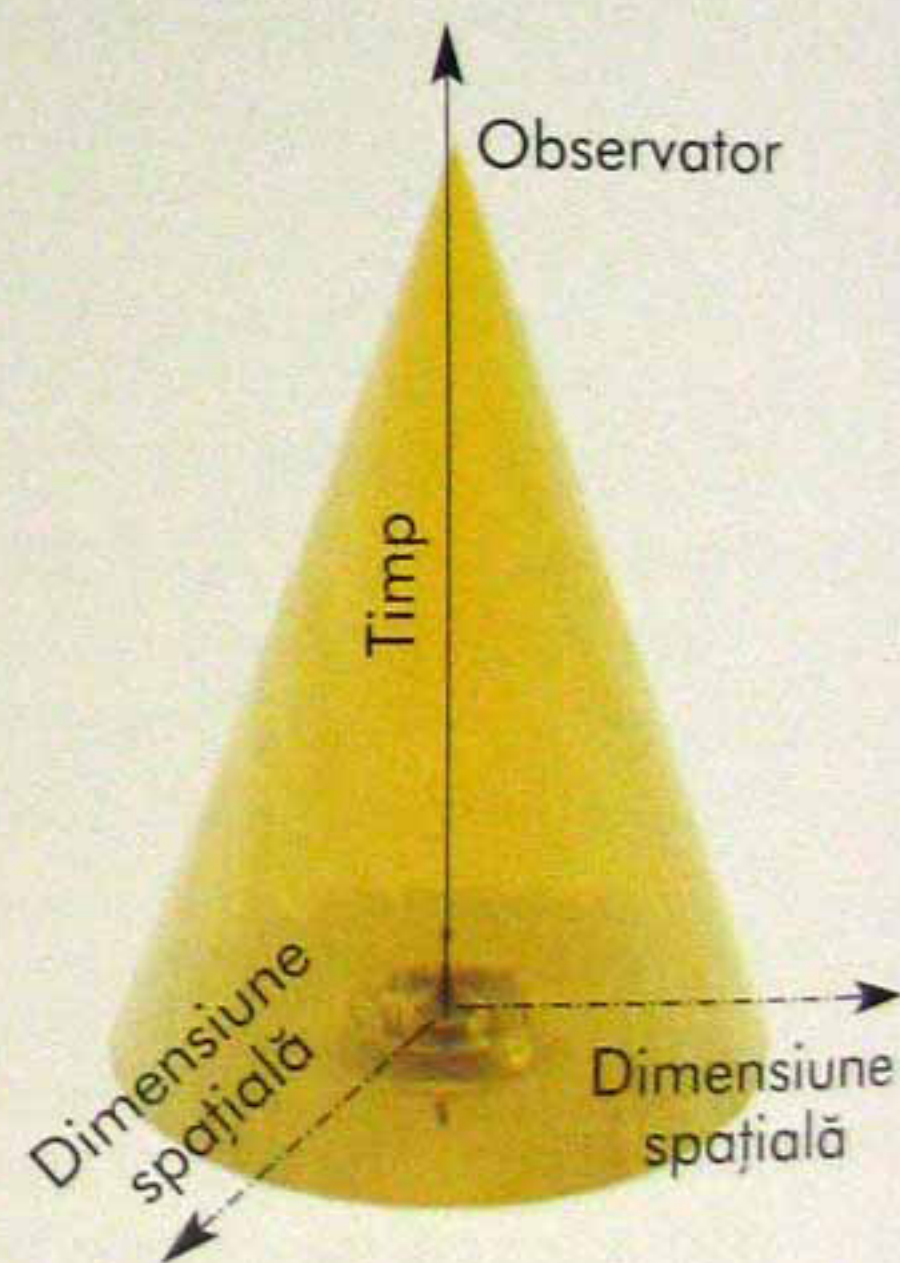
Evident, era important să se stabilească dacă modelul matematic al relativității generale prezice că universul, și timpul însuși, trebuie să aibă un început sau un sfârșit. Prejudecata generală în rîndul fizicienilor teoreticieni, inclusiv a lui Einstein, era că timpul trebuie să fie infinit în ambele direcții. Altminteri, apăreau probleme delicate legate de crearea universului, care păreau că nu țin de domeniul științei. Se știa cînd anume soluțiile ecuațiilor lui Einstein aveau un început sau un sfârșit în timp, dar toate aceste soluții erau particulare, avînd un grad ridicat de simetrie. Se credea că atunci cînd un corp colapsează sub influența propriei gravitații, presiunea sau vitezele periferice împiedică prăbușirea întregii materii într-un singur punct în care densitatea ar fi infinită. În mod similar, dacă am reface în timp, în sens invers, expansiunea universului, am găsi că materia universului n-ar fi putut țîșni toată dintr-un punct cu densitate infinită. Un asemenea punct cu densitate infinită a fost numit singularitate și ar reprezenta un început sau un sfârșit al timpului.

În 1963, doi oameni de știință ruși, Evgheni Lifșit și Isaac Halatnikov, au revendicat demonstrarea faptului că soluțiile ecuațiilor lui Einstein cu singularitate prezintă, toate, o configurație specială a materiei și vitezelor. Șansele ca soluțiile reprezentînd universul să aibă aceste configurații speciale sînt practic nule. Aproape nici o soluție care reprezintă universul n-ar avea o singularitate cu densitate infinită: înainte de era în care universul s-a extins, trebuie să fi existat o fază premergătoare de contracție, în care materia s-a prăbușit în sine, fără să aibă loc ciocniri, mișcîndu-se în continuare pînă în faza actuală de expansiune. În acest caz, timpul ar continua la nesfîrșit, din trecutul infinit, către viitorul infinit.

Dar argumentele lui Lifșit și Halatnikov nu i-au convins pe toți. Roger Penrose și cu mine am ales o cale diferită, bazată nu pe studiul detaliat al soluțiilor, ci pe structura globală a spațiu-timpului. În relativitatea generală, spațiu-timpul se curbează nu numai datorită obiectelor masive din el, ci și datorită energiei existente acolo. Energia este întotdeauna pozitivă, astfel încît imprimă spațiu-timpului o curbă care îndoaie razele de lumină una spre alta.

Să considerăm acum conul nostru luminos din trecut (Fig. 2.5), adică totalitatea drumurilor din spațiu-timp ale ra-

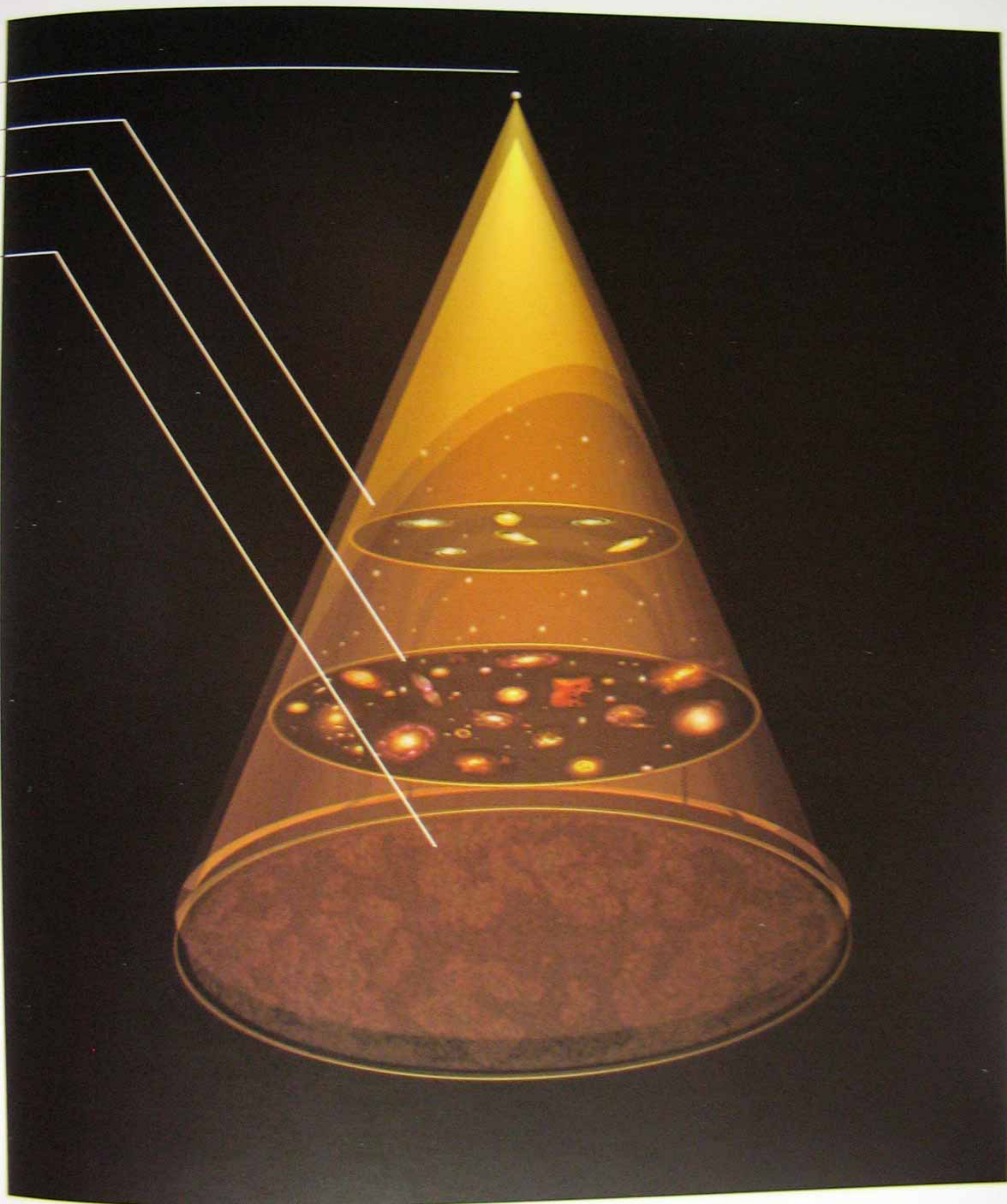
Observator privind înapoi în timp  
Galaxiile, așa cum apăreau ele recent  
Galaxiile așa cum apăreau acum cinci miliarde de ani  
Radiația de fond



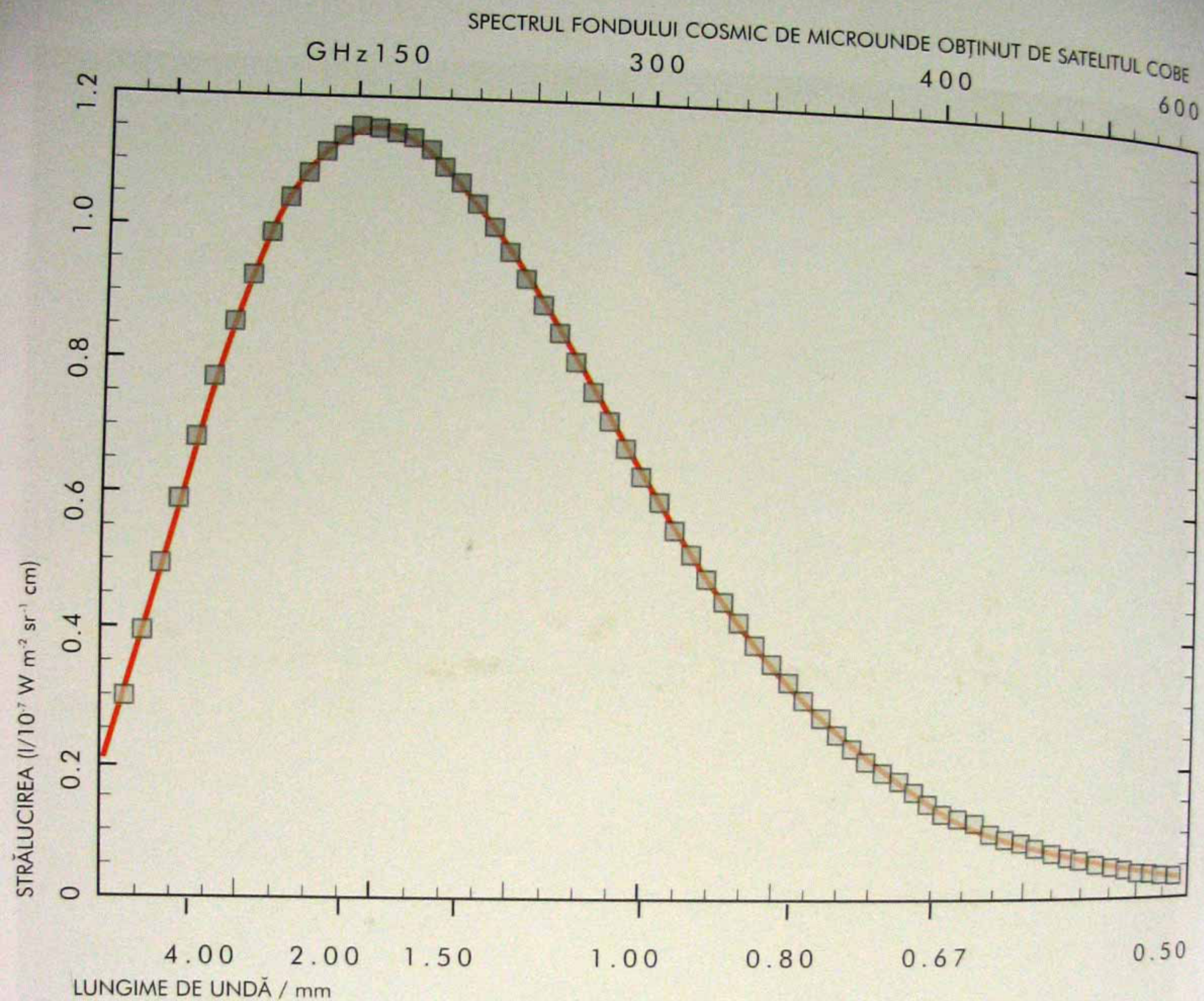
(Fig. 2.5) CONUL NOSTRU LUMINOS DIN TRECUT

Cînd privim galaxiile îndepărtate, vedem universul așa cum era cu un timp în urmă, deoarece lumina se deplasează cu viteză finită. Dacă reprezentăm timpul pe axa verticală, iar două dintre cele trei coordonate spațiale pe orizontală, atunci lumina care ajunge acum în punctul din vârful conului s-a propagat pînă la noi pe con.







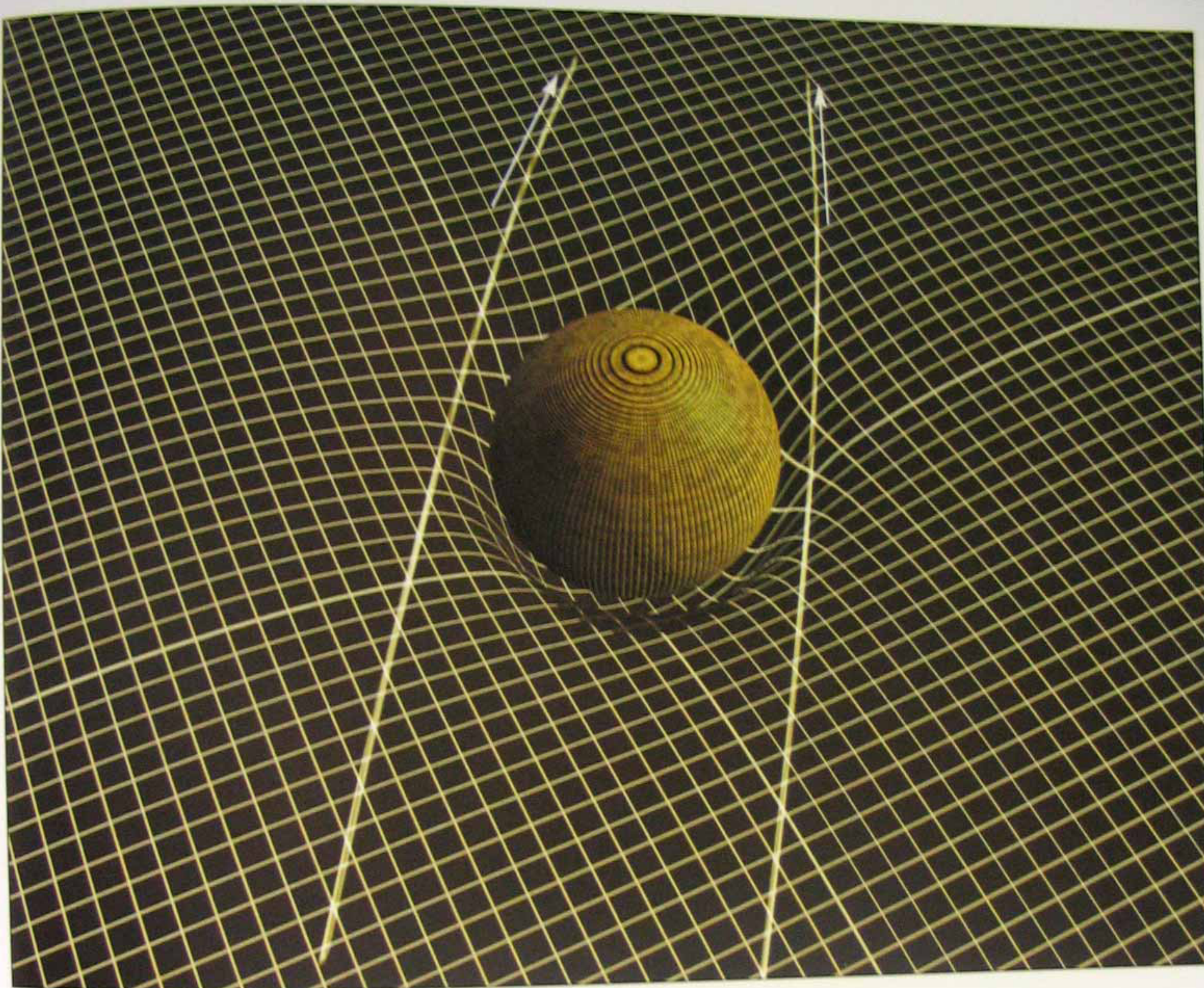


(Fig. 2.6) MĂSURAREA SPECTRULUI FONDULUI DE MICROUNDE

Spectrul — distribuția intensității după frecvență — radiației cosmice de fond de microunde are aceeași formă ca spectrul unui corp fierbinte. Pentru ca radiația să fie la echilibru termic, materia trebuie să sufere multe ciocniri. De aici rezultă că în conul nostru luminos din trecut trebuie să fi existat suficientă materie pentru a provoca înclinarea conului spre interior.

zelor de lumină provenind de la galaxiile îndepărtate, raze ce ajung la noi în prezent. Într-o diagramă avînd timpul reprezentat pe verticală și spațiul de o parte și de alta, există un con cu vârful în locul unde ne aflăm. Pe măsură ce ne deplasăm spre trecut, pornind din vîrf în jos pe con, vedem galaxii din timpuri tot mai vechi. Deoarece universul s-a extins, iar toate obiectele sale se aflau la distanțe mai mici între ele, pe măsură ce privim mai departe în trecut, vedem regiuni cu densitate mai mare de materie. Observăm și un fond slab al radiațiilor de microunde, care se propagă către noi de-a lungul conului luminos venind dintr-un trecut mult mai îndepărtat, cînd universul era mult mai dens și mai fierbinte decît acum. Acor-dîndu-ne receptoarele pe diversele lungimi de undă ale radia-





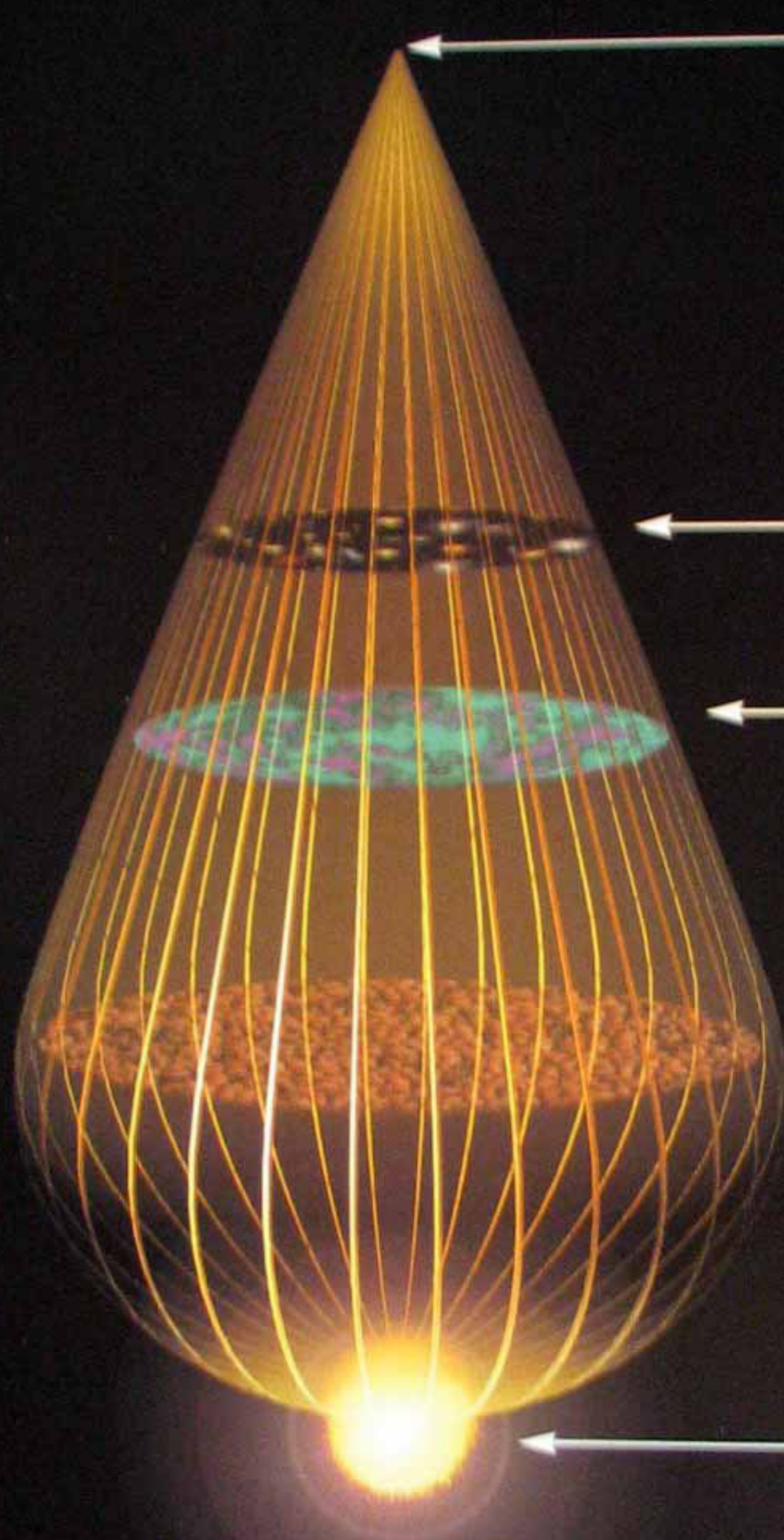
ției de microunde, îi putem măsura spectrul (distribuția de putere în funcție de frecvențe). Obținem astfel un spectru caracteristic pentru radiația unui corp aflat la temperatura de 2,7 grade deasupra lui zero absolut. Această radiație de microunde nu e bună pentru a decongela pizza, dar faptul că spectrul se află într-o concordanță atât de exactă cu cel al radiației unui corp aflat la temperatura de 2,7 grade ne arată că radiația trebuie să provină din regiuni opace la microunde (Fig. 2.6).

Așadar, urmărind parcursul său în trecut, conul luminos a trebuit să străbată o anumită cantitate de materie. Această cantitate de materie e suficientă pentru a curba spațiu-timpul, ast-

(Fig. 2.7)  
SPAȚIU-TIMPUL DISTORSIONAT

Deoarece gravitația este atractivă, materia deformează întotdeauna spațiu-timpul astfel încât razele de lumină să fie curbate una către alta.





Observatorul privind în acest moment înapoi în timp

Galaxiile acum 5 miliarde de ani

Fondul de microunde

Densitatea de materie care determină curbarea conului luminos spre interior

Singularitatea de la big bang



fel încât razele de lumină ale conului luminos din trecut să fie înclinate unele spre altele (Fig. 2.7).

Pe măsură ce ne întoarcem în timp, secțiunea conului nostru luminos din trecut atinge un maximum, după care scade din nou. Trecutul nostru are formă de pară (Fig. 2.8).

Urmărind conul luminos mai departe în trecut, densitatea energiei pozitive a materiei determină curbarea și mai puternică a razelor de lumină una spre alta. Secțiunea conului luminos se va îngusta pînă la zero într-un timp finit. Aceasta înseamnă că toată materia din conul nostru luminos din trecut e prinsă într-o capcană ale cărei granițe se restrîng la zero. Nu e prin urmare prea surprinzător că Penrose și cu mine am putut demonstra că, în modelul matematic al teoriei generale a relativității, timpul trebuie să aibă un început în ceea ce se numește big bang. Argumente similare arată că timpul va avea un sfîrșit atunci cînd stelele ori galaxiile vor colapsa sub influența propriei gravitații pentru a forma găuri negre. Noi am depășit antinomia rațiunii pure a lui Kant, respingînd presupunerea sa implicită conform căreia timpul ar avea sens independent de univers. Lucrarea noastră care demonstra că timpul are un început a cîștigat premiul al doilea la concursul sponsorizat de Fundația Cercetărilor asupra Gravitației în 1968, iar Roger Penrose și cu mine am împărțit fabuloasa sumă de 300 de dolari. Nu cred că celelalte lucrări premiate și-au dovedit o valoare atît de durabilă.

Lucrarea noastră a suscitat reacții diverse. Ea a indispus mulți fizicieni, dar a încîntat mulți conducători religioși care cred în actul creației, fiindcă le-ar fi oferit dovada științifică. Între timp, Lifșit și Halatnikov s-au trezit într-o situație penibilă. Ei nu puteau contesta teoremele matematice demonstrate de noi, dar, în cadrul sistemului sovietic, nu puteau recunoaște că s-au înșelat și că știința occidentală a avut dreptate. S-au descurcat totuși, găsind o familie mai generală de soluții cu o singularitate, care nu au fost obținute pe căile folosite pentru soluțiile lor anterioare. Aceasta le-a permis să susțină că singularitățile, ca și începutul și sfîrșitul timpului, au fost descoperiri sovietice.

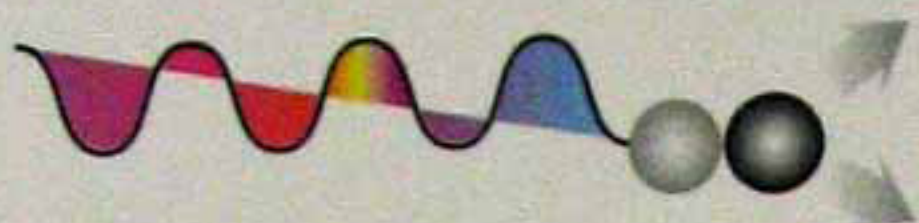
(Fig. 2.8) TIMPUL ARE FORMĂ DE PARĂ

Dacă ne întoarcem în timp pe conul luminos, observăm curbarea lui de către materia din universul timpuriu. Întregul univers pe care îl observăm e conținut într-o regiune ale cărei granițe se restrîng la zero, la big bang. Acesta din urmă ar fi o singularitate, un loc în care densitatea materiei ar fi infinită, iar teoria generală a relativității n-ar mai fi valabilă.

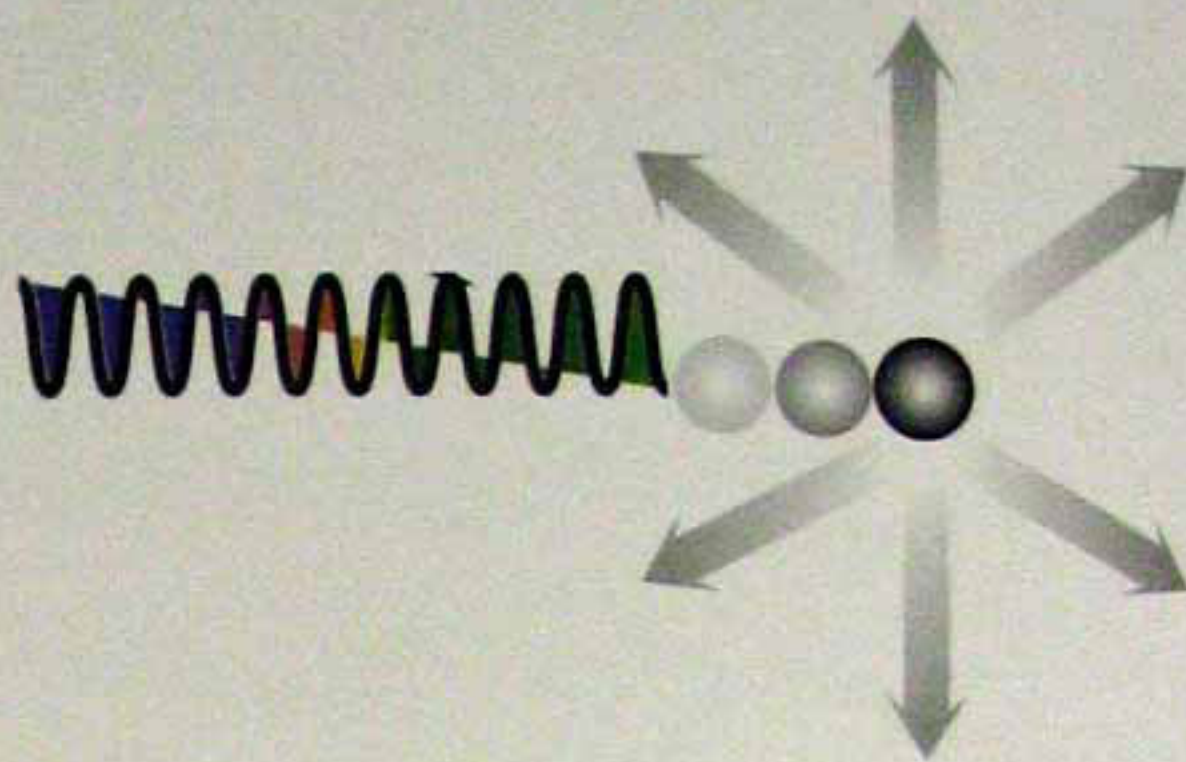




### PRINCIPIUL DE INCERTITUDINE



Undele de frecvență mai joasă perturbă mai puțin viteza particulelor.



Undele de frecvență mai înaltă perturbă mai mult viteza particulelor.



Cu cât este mai mare lungimea undelor folosite pentru a observa o particulă, cu atât este mai mare incertitudinea în privința poziției sale.

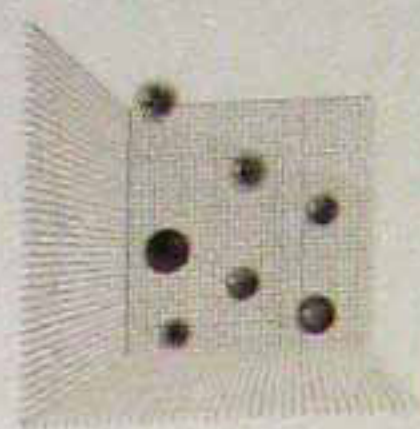
Cu cât este mai mică lungimea undelor folosite pentru a observa o particulă, cu atât este mai mare certitudinea în privința poziției sale.

Un pas important pe calea descoperirii teoriei cuantice a fost ideea lui Max Planck din 1900 conform căreia lumina sosește întotdeauna în pachete mici, numite de el cuante. Dar, în timp ce ipoteza lui Planck explica perfect observațiile asupra radiației de la corpurile fierbinți, înțelegerea completă a consecințelor acestui fapt nu a fost posibilă până la jumătatea anilor 1920, când fizicianul german Werner Heisenberg a formulat cunoscutul principiu de incertitudine. El a observat

faptul că ipoteza lui Planck implică o incertitudine cu atât mai mare în determinarea poziției, cu cât încercăm să-i măsurăm mai precis viteza și invers. Mai precis, el a arătat că incertitudinea poziției unei particule înmulțită cu incertitudinea măsurării impulsului ei trebuie să fie totdeauna mai mare decât constanta lui Planck, care este o cantitate strâns legată de conținutul de energie al cuantei de lumină.



## RELAȚIA DE INCERTITUDINE A LUI HEISENBERG



Incetitudinea  
poziției  
particulei

$\Delta x$



Incetitudinea  
vitezei  
particulei

$\Delta v$



Masa  
particulei

$=$

**Nu este mai mică  
decît constanta lui Planck**

Celor mai mulți fizicieni le-a dispăcut ideea ca timpul să aibă un început sau un sfârșit. Ei au remarcat că modelul matematic ar putea să nu descrie bine spațiu-timpul în apropierea unei singularități. Motivul ar fi că relativitatea generală, care descrie forța gravitațională, e o teorie clasică, așa cum am observat în capitolul 1, și nu încorporează incertitudinea teoriei cuantice care guvernează toate celelalte forțe cunoscute. Această inconsecvență nu contează în cea mai mare parte a universului și în cea mai mare parte a timpului, fiindcă scara la care timpul este curbat e foarte mare, iar scara la care efectele cuantice sînt importante e foarte mică. Dar, în apropierea unei singularități, cele două scări sînt comparabile, iar efectele gravitaționale cuantice ar deveni importante. Așadar, ceea ce au stabilit cu adevărat teoremele singularității demonstrate de Penrose și de mine este că regiunea noastră clasică spațio-temporală e limitată către trecut și probabil către viitor de regiuni în care gravitația cuantică e importantă. Pentru a înțelege originea și soarta universului, avem nevoie de o teorie cuantică a gravitației, acesta constituind subiectul celei mai mari părți a cărții de față.

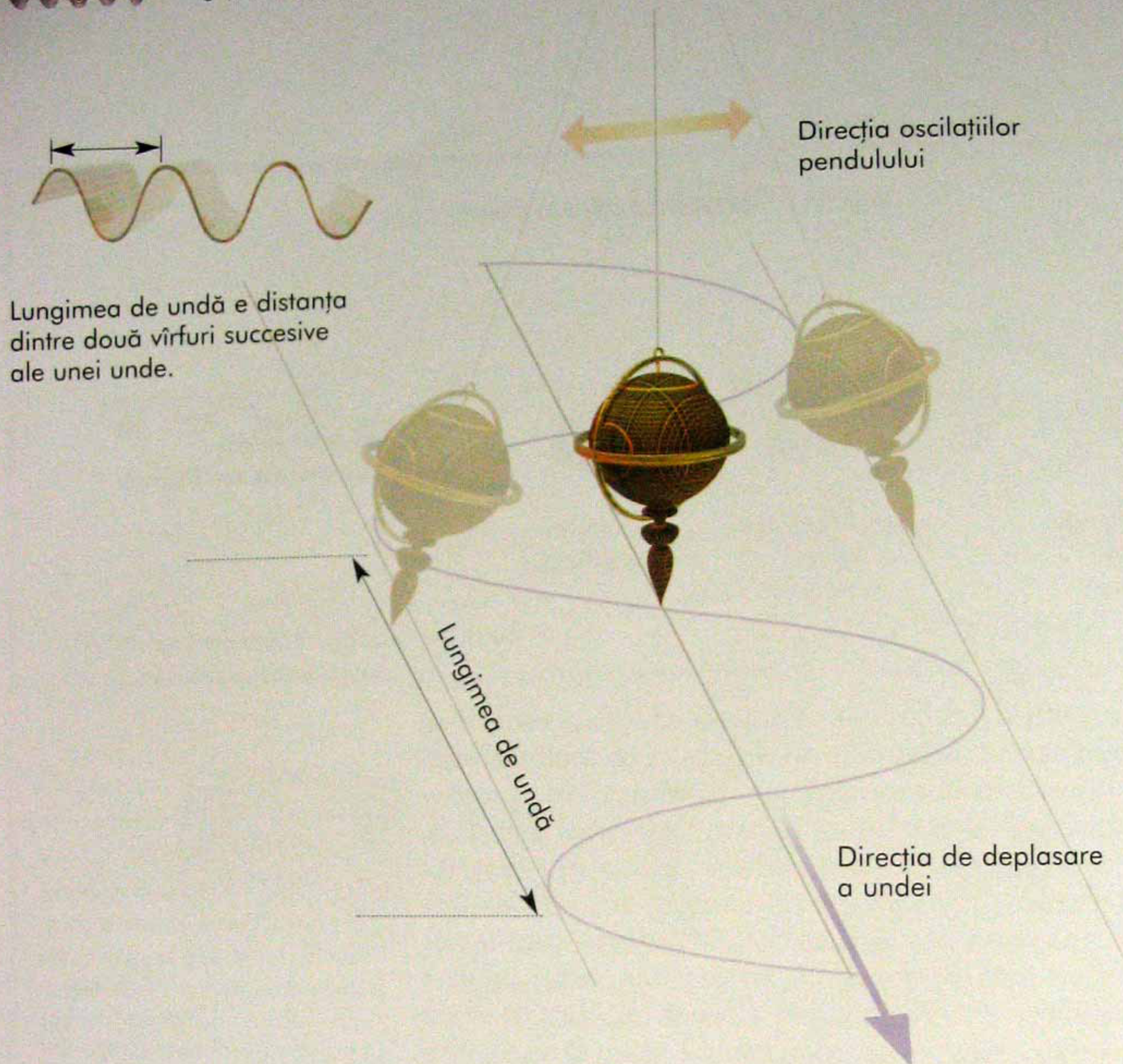
Teoria cuantică a sistemelor precum atomii, alcătuiți dintr-un număr finit de particule, a fost formulată în anii '20 de Heisenberg, Schrödinger și Dirac. (Dirac a fost un alt predecesor al meu pe scaunul catedrei de la Cambridge, dar scaunul nu era încă motorizat.) Oamenii de știință au întâmpinat însă dificultăți cînd au încercat să extindă ideile cuantice la cîmpul lui Maxwell care descrie electricitatea, magnetismul și lumina.

### CÎMPUL LUI MAXWELL

În 1865, fizicianul britanic James Clerk Maxwell a combinat toate legile cunoscute ale electricității și magnetismului. Teoria lui Maxwell se bazează pe existența cîmpurilor care transmit acțiunile de la un loc la altul. El a înțeles că aceste cîmpuri care transmit perturbațiile electrice și magnetice sînt entități dinamice: ele pot să oscileze și să se deplaseze prin spațiu.

Sinteza electricității și magnetismului elaborată de Maxwell poate fi condensată în două ecuații care dictează dinamica acestor cîmpuri. Din aceste ecuații, el însuși a tras prima mare concluzie, aceea că undele electromagnetice de orice frecvență se deplasează prin spațiu cu aceeași viteză fixă — viteza luminii.





Putem concepe câmpurile lui Maxwell ca fiind alcătuite din unde avînd diferite lungimi de undă (distanțele dintre două creste succesive undei). Într-o undă, câmpul oscilează de la o valoare la alta ca un pendul (Fig. 2.9).

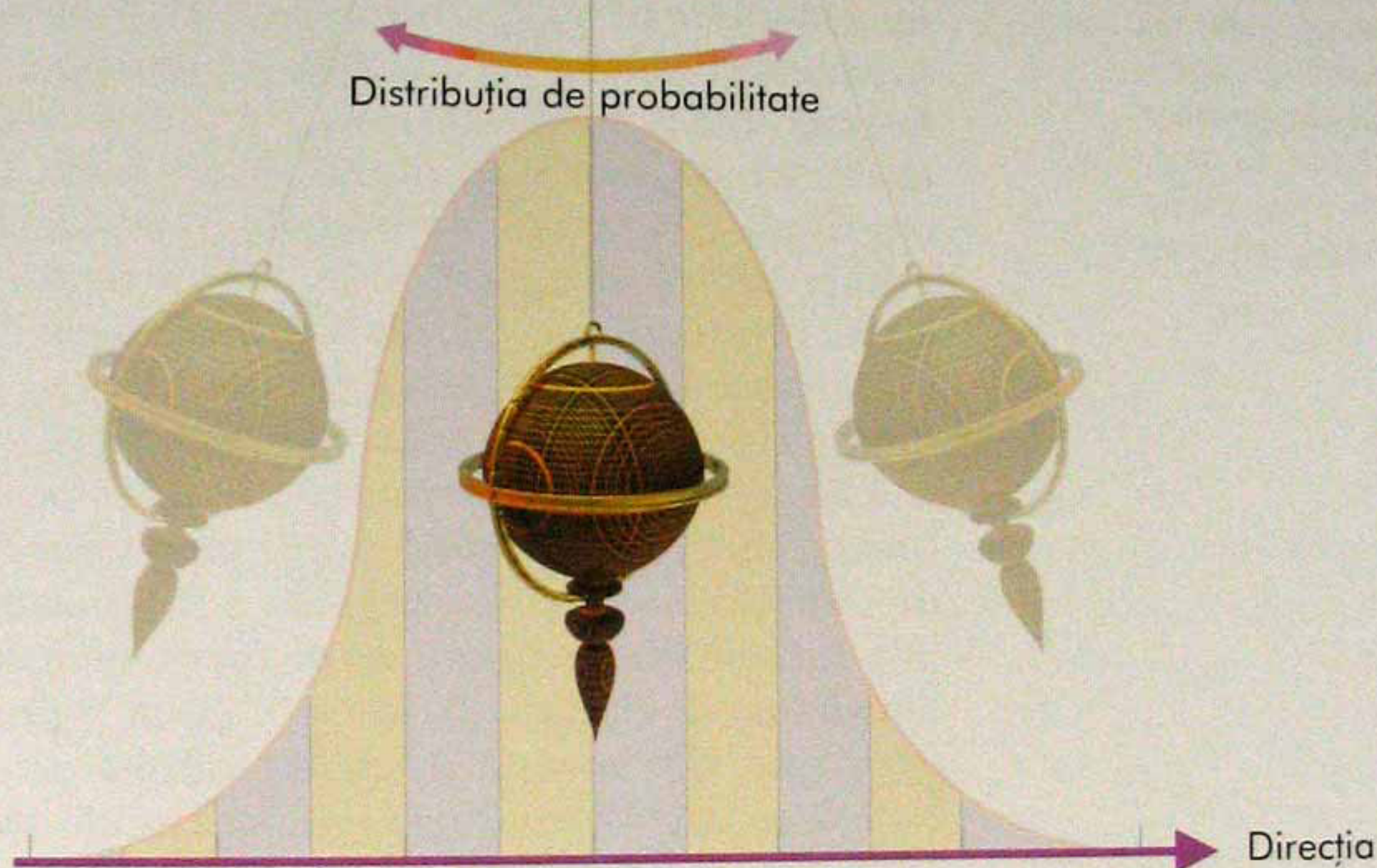
Conform teoriei cuantice, starea fundamentală, sau de cea mai joasă energie a pendulului, nu este cea în care pendulul se află nemișcat în punctul de cea mai joasă energie, în poziție verticală. În acest caz, el ar avea și poziția și viteza definite și egale cu zero. Aceasta ar viola principiul de incertitudine, care interzice măsurarea precisă a poziției și vitezei în același timp. Incertitudinea poziției multiplicată cu incertitudinea vitezei trebuie să fie mai mare decît o anumită cantitate, cunoscută sub numele de constanta lui Planck — un număr care are prea multe cifre pentru a-l scrie aici, așa încît folosim pentru el simbolul  $h$ .

(Fig. 2.9)

#### PROPAGAREA UNDEI ȘI PENDULUL OSCILANT

Radiația electromagnetică se deplasează prin spațiu ca o undă, cu câmpurile sale electric și magnetic oscilînd ca un pendul transversal față de direcția de deplasare a undei. Radiația poate fi alcătuită din câmpuri de diferite lungimi de undă.





Astfel, starea fundamentală, sau starea de cea mai joasă energie, nu are energie zero, așa cum ar fi de așteptat. Chiar și în starea sa fundamentală, un pendul sau orice sistem oscilant trebuie să aibă o anumită cantitate minimă din ceea ce numim fluctuațiile punctului de zero. Pendulul nu va fi deci îndreptat drept în jos, ci va exista o probabilitate ca să se afle la un mic unghi față de verticală (Fig. 2.10). În mod asemănător, chiar și în vid, sau în starea de cea mai joasă energie, undele câmpului Maxwell nu vor fi exact zero, ci pot avea dimensiuni mici. Cu cât va fi mai înaltă frecvența (numărul de oscilații pe secundă) pendulului sau undei, cu atât va fi mai mare energia stării fundamentale.

Calculul fluctuațiilor stării fundamentale în câmpul Maxwell sau în cel al electronilor a arătat că masa aparentă și sarcina aparentă ale electronului devin infinite, fapt contrazis de observații. În anii 1940 însă, fizicienii Richard Feynman, Ju-

(Fig. 2.10)

#### PENDULUL ȘI DISTRIBUȚIA DE PROBABILITATE

Conform principiului lui Heisenberg, e imposibil ca un pendul să fie îndreptat direct în jos, având viteză zero. În schimb, teoria cuantică prezice că, fie și în starea de cea mai joasă energie, pendulul trebuie să aibă o cantitate minimă de fluctuații.

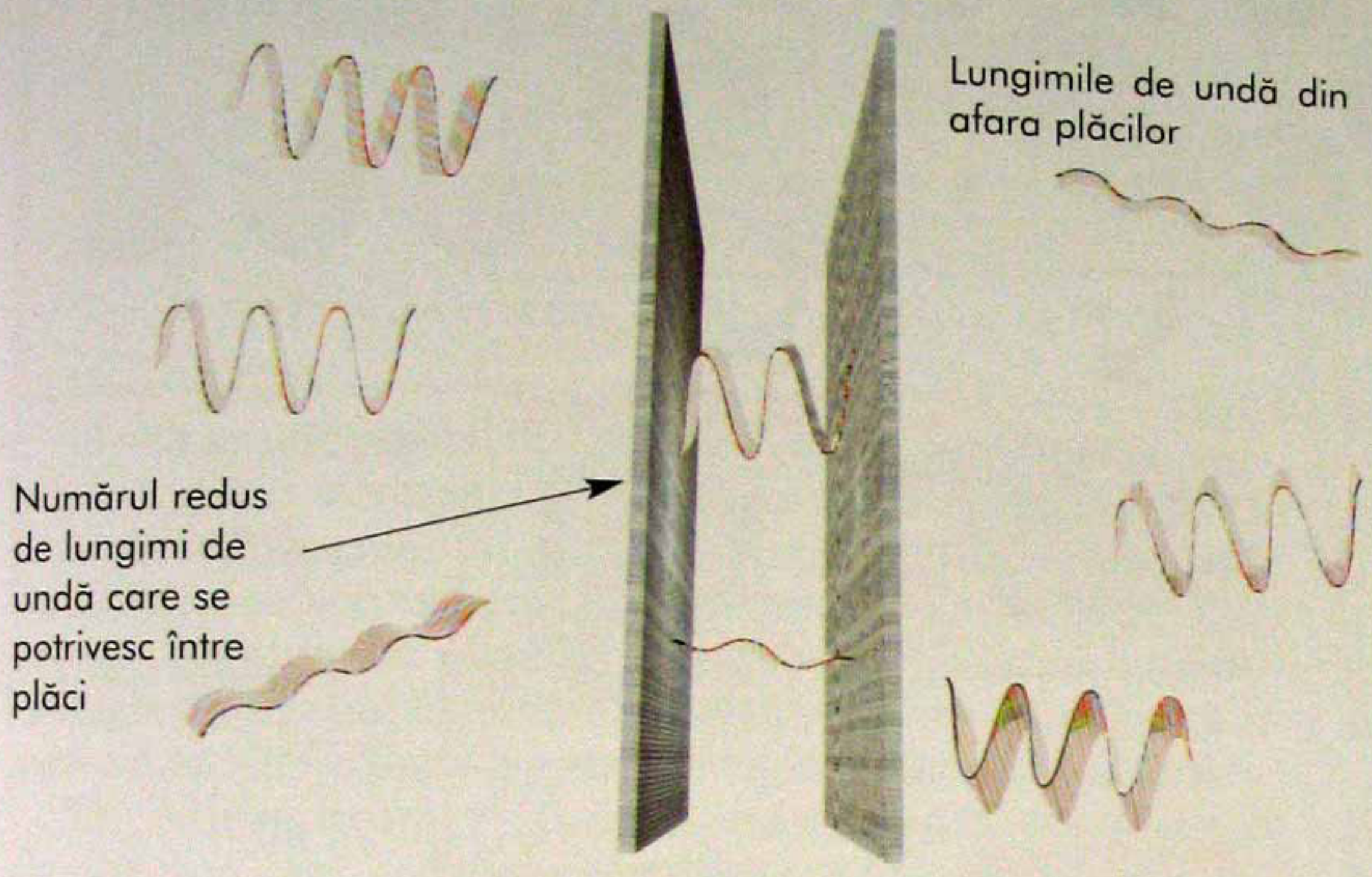
Rezultă că poziția pendulului va fi dată de o distribuție de probabilitate. În starea sa fundamentală, poziția cea mai probabilă e cea verticală, dar există și probabilitatea ca pendulul să se afle la un unghi mic față de verticală.



lian Schwinger și Shin'ichiro Tomonaga au dezvoltat o metodă consecventă de înlăturare sau „scădere” a acestor infinități pentru a avea de-a face doar cu valorile finite observate ale masei și sarcinii. Fluctuațiile stării fundamentale produceau mici efecte ce puteau fi măsurate și erau în concordanță cu experimentul. Scheme similare de scădere pentru înlăturarea infinităților funcționează și pentru câmpurile Yang-Mills, în teoria elaborată de Chen Ning Yang și Robert Mills. Teoria Yang-Mills constituie o extindere a teoriei lui Maxwell și descrie interacțiunile pentru alte două forțe numite forțele nucleare tari și slabe. Fluctuațiile stării fundamentale au însă efecte mult mai importante în teoria cuantică a gravitației. Din nou, fiecare lungime de undă va avea o energie a stării sale fundamentale. Deoarece nu există o limită inferioară pentru lungimea de undă a câmpului Maxwell, există un număr infinit de lungimi de undă diferite în orice regiune a spațiu-timpului și o cantitate infinită de energie a stării fundamentale. Dar, deoarece densitatea de energie, la fel ca materia, reprezintă o sursă de gravitație, din această densitate infinită de energie ar fi trebuit să rezulte că în univers există destulă atracție gravitațională cât să închidă în sine spațiu-timpul pînă la a deveni un singur punct, ceea ce evident nu s-a întîmplat.

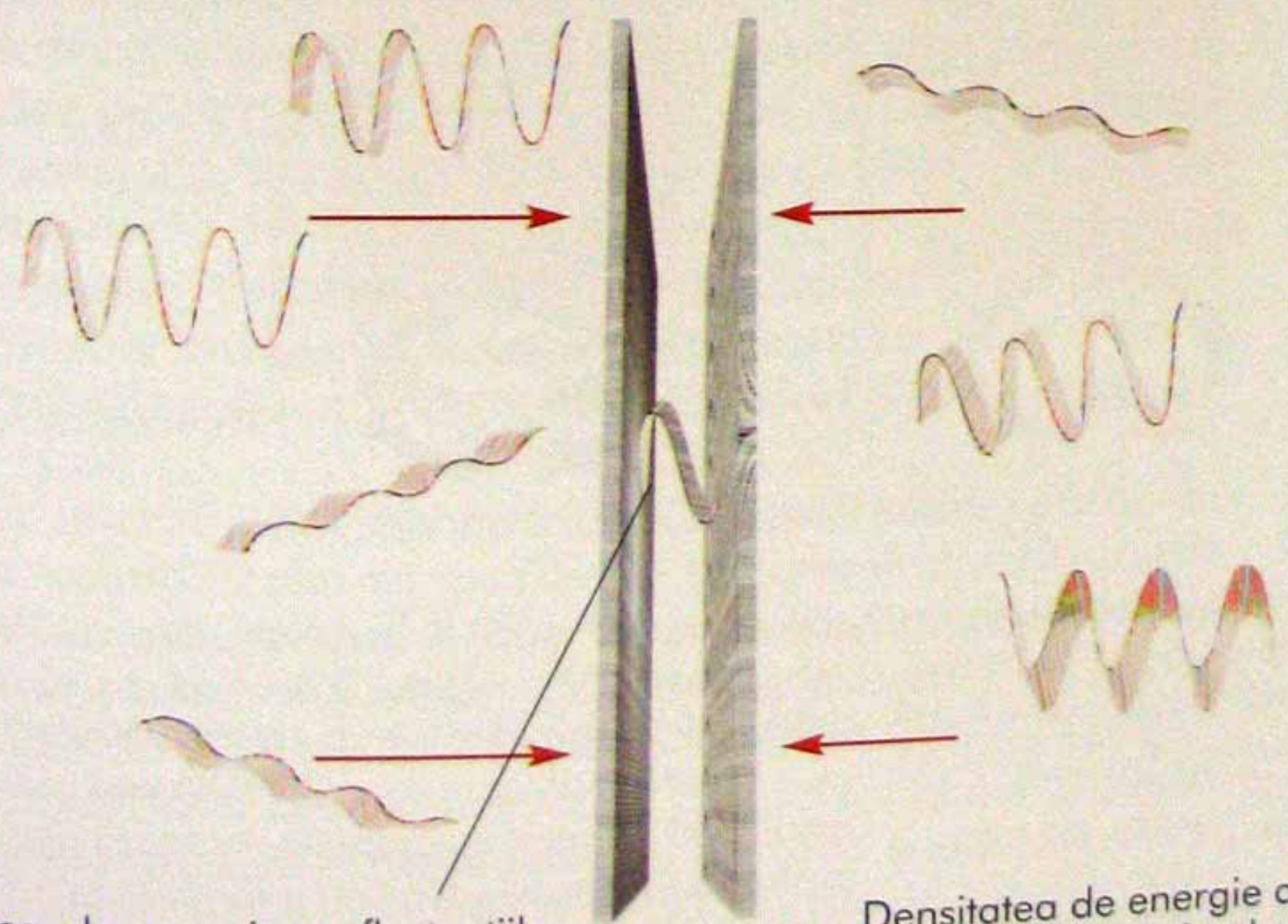
Am putea spera să rezolvăm problema acestei contradicții aparente dintre observație și teorie afirmînd că fluctuațiile stării fundamentale nu au efect gravitațional, dar soluția nu e bună. Energia fluctuațiilor stării fundamentale poate fi detectată prin efectul Casimir. Dacă așezați o pereche de plăci metalice paralele foarte aproape una de alta, efectul lor este o ușoară reducere a numărului lungimilor de undă care se potrivește între plăci, față de numărul lungimilor de undă din afară. Înseamnă că densitatea de energie a fluctuațiilor stării fundamentale dintre plăci, deși tot infinită, este mai mică decît densitatea de energie din afara lor cu o cantitate finită (Fig. 2.11). Această diferență între densitățile de energie dă naștere unei forțe care împinge cele două plăci una spre alta, forță observată experimental. În relativitatea generală, forțele sînt surse de gravitație, la fel ca materia, deci ar fi o inconsecvență să ignorăm efectul gravitațional al acestei diferențe de energie.





(Fig. 2.11)  
EFECTUL CASIMIR

Existența unor fluctuații ale stării fundamentale a fost confirmată experimental prin efectul Casimir, o mică forță ce apare între două plăci de metal paralele.



Densitatea de energie a fluctuațiilor stării fundamentale dintre plăci e mai mică decât densitatea din afara lor, ceea ce duce la apropierea plăcilor.

Densitatea de energie a fluctuațiilor stării fundamentale e mai mare în afara plăcilor.





(Fig. 2.12) SPINUL

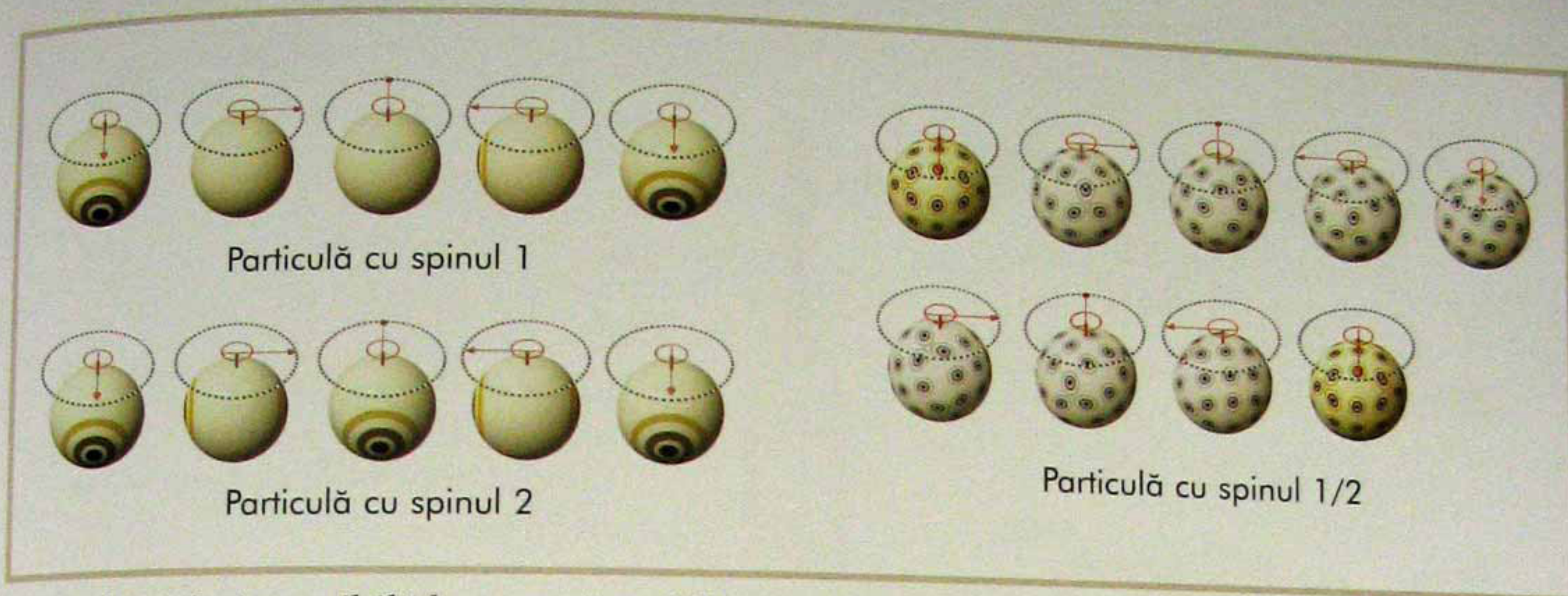
Toate particulele posedă o proprietate numită spin, legată de felul în care se vede particula din diferite direcții. Se poate explica acest lucru cu un pachet de cărți de joc. Să considerăm mai întâi asul de pică. El arată la fel numai dacă îl întorci cu o rotație completă de 360 de grade. De aceea se spune despre el că are spinul 1.

Pe de altă parte, regina de cupă are două capete. Ea arată deci la fel chiar și după o singură jumătate de rotație completă, la 180 de grade. Se spune de-

spre ea că are spinul 2. În mod asemănător, se pot imagina obiecte cu spinul 3 sau mai mare, care ar arăta la fel după fracțiuni de rotație completă.

Cu cât este mai mare spinul, cu atât este mai mică fracțiunea de rotație completă necesară pentru ca particula să arate la fel. Dar e remarcabil că unele particule arată la fel numai după două rotații de 360 de grade. Se spune despre ele că au spinul  $1/2$ .





O altă soluție posibilă la această problemă ar fi presupunerea că există o constantă cosmologică, ca aceea introdusă de Einstein în încercarea de a obține un model static al universului. Dacă ar avea o valoare negativă infinită, constanta ar putea anula exact valoarea pozitivă infinită a energiilor stării fundamentale din spațiul liber, dar această constantă cosmologică ar părea născocită ad-hoc și ar trebui reglată extraordinar de fin.

Din fericire, în anii 1970, s-a descoperit un tip complet nou de simetrie care oferă un mecanism fizic natural pentru a anula infiniții ce apar din fluctuațiile stării fundamentale. Supersimetria e o trăsătură a modelelor matematice moderne care poate fi descrisă în diverse moduri. Unul dintre ele ar fi să spunem că spațiu-timpul are dimensiuni suplimentare în afara celor pe care le percepem. Acestea se numesc dimensiuni Grassmann, deoarece sînt măsurate prin numere cunoscute sub numele de variabile Grassmann, și nu prin numere reale obișnuite. Numerele obișnuite comută, adică, indiferent în ce ordine le înmulțești, 6 ori 4 este același lucru cu 4 ori 6. Dar variabilele Grassmann *anticomută*:  $x$  ori  $y$  este același lucru cu  $-y$  ori  $x$ .

Supersimetria a fost mai întîi luată în considerare pentru eliminarea infiniților din câmpurile de materie și din câmpurile Yang-Mills dintr-un spațiu-timp în care atît dimensiunile descrise prin numere obișnuite, cît și prin numere Grassmann erau plate și nu curbate. Dar era firesc să extindem supersimetria la dimensiuni curbate, descrise prin numere obișnuite și prin dimensiuni Grassmann. Aceasta a dus la o serie de teorii numite generic supergravitație și avînd diferite proporții de supersimetrie. O consecință a supersimetriei e că fiecare cîmp sau particulă trebuie să aibă un „superpartener”, care are spinul fie cu  $1/2$  mai mare, fie cu  $1/2$  mai mic decît al său (Fig. 2. 12).

#### NUMERE OBIȘNUITE

$$A \times B = B \times A$$

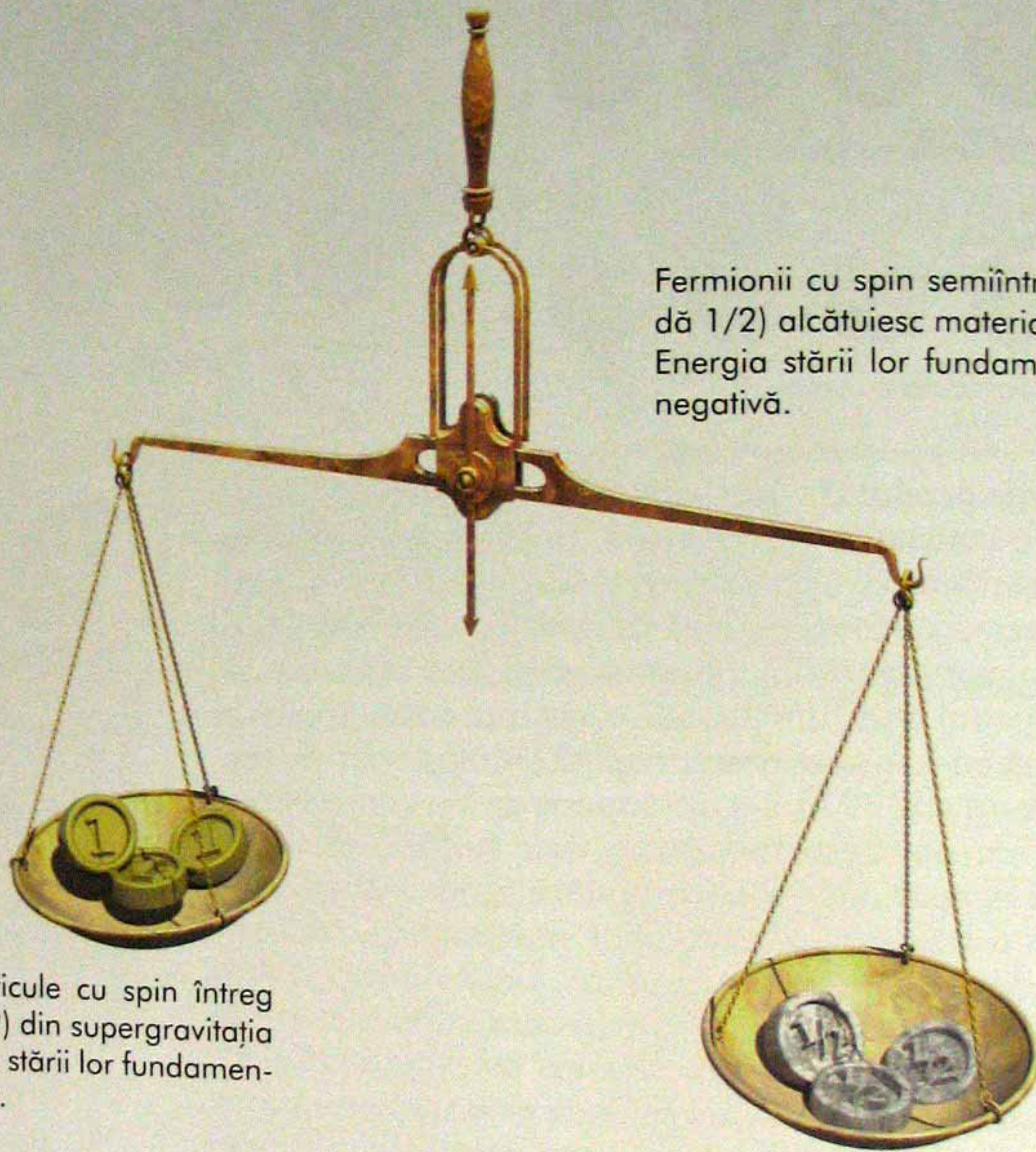
#### NUMERE GRASSMANN

$$A \times B = -B \times A$$





## SUPERPARTENERII



Fermionii cu spin semiîntreg (de pildă  $1/2$ ) alcătuiesc materia obișnuită. Energia stării lor fundamentale este negativă.

Bosonii sînt particule cu spin întreg (cum ar fi 0, 1, 2) din supergravitația cu  $N=8$ . Energia stării lor fundamentale este pozitivă.

(Fig. 2.13)

Toate particulele cunoscute din univers aparțin unuia dintre cele două grupuri, fermioni sau bosoni. Fermionii sînt particule cu spin semiîntreg (cum ar fi spinul  $1/2$ ), din care e alcătuită materia obișnuită. Energia stării lor fundamentale e negativă.

Bosonii sînt particule cu spin întreg (cum ar fi 0, 1, 2) care dau naștere forțelor dintre fermioni, cum sînt forța gravitațională și lumina. Energia stării lor fundamentale e pozitivă. Teoria supergravitației presupune că fiecare fermion și fiecare boson au un superpartener cu spinul fie mai

mare, fie mai mic cu  $1/2$  decît al său. De exemplu, un foton (care e boson) are spinul 1. Energia stării lui fundamentale e pozitivă. Superpartenerul fotonului, fotino, are spinul  $1/2$ , ceea ce face din el un fermion. Deci energia stării lui fundamentale e negativă.

În schema supergravitației sfîrșim prin a obține un număr egal de bosoni și fermioni. Cu energia stării fundamentale înclinînd de partea pozitivă pentru bosoni și cu fermionii înclinînd de partea negativă, energiile stării fundamentale se anulează reciproc, eliminînd cei mai mari infiniți.



## MODELE DE COMPORTARE A PARTICULELOR

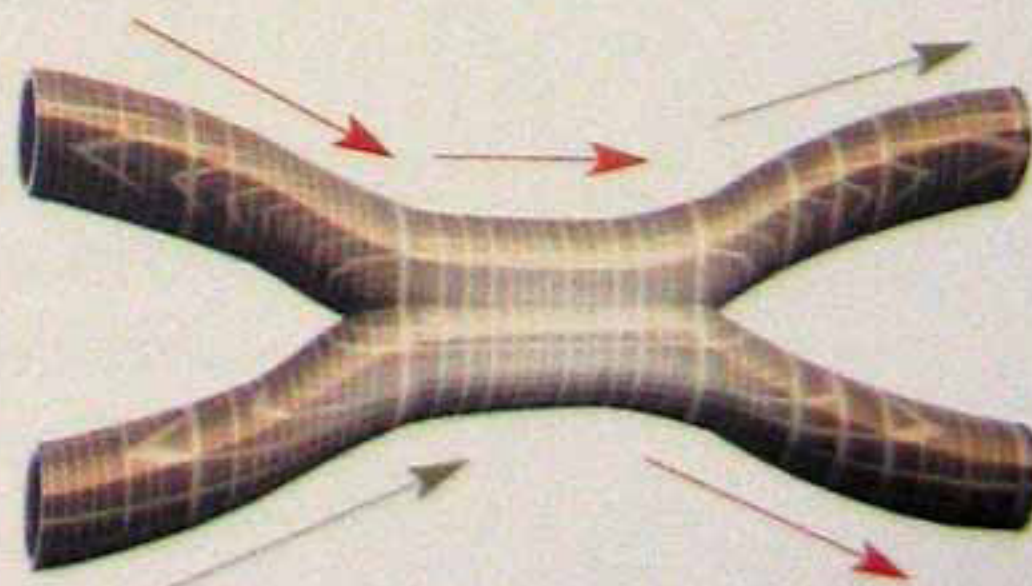
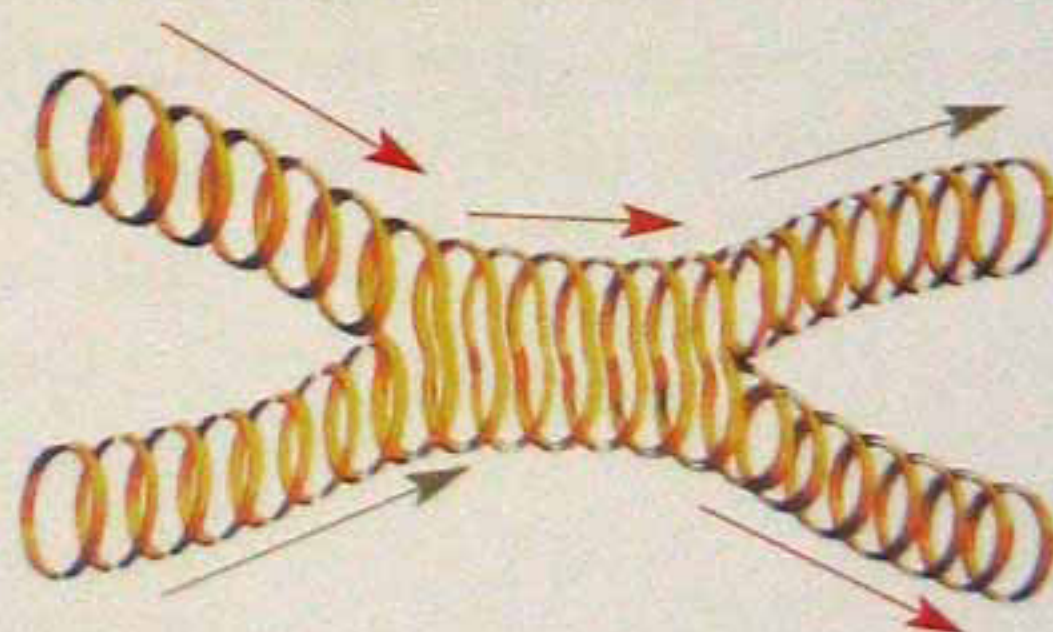
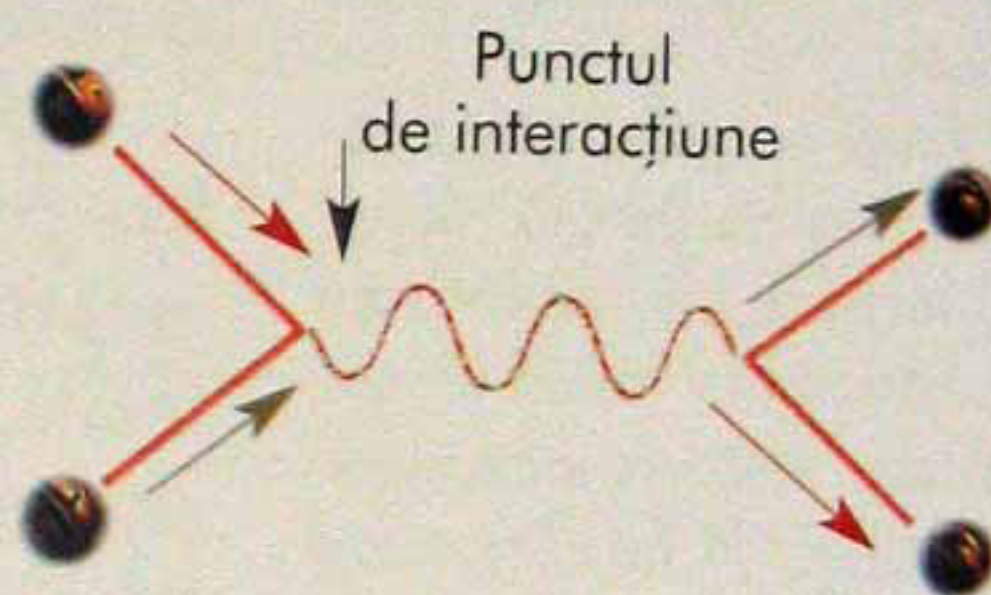
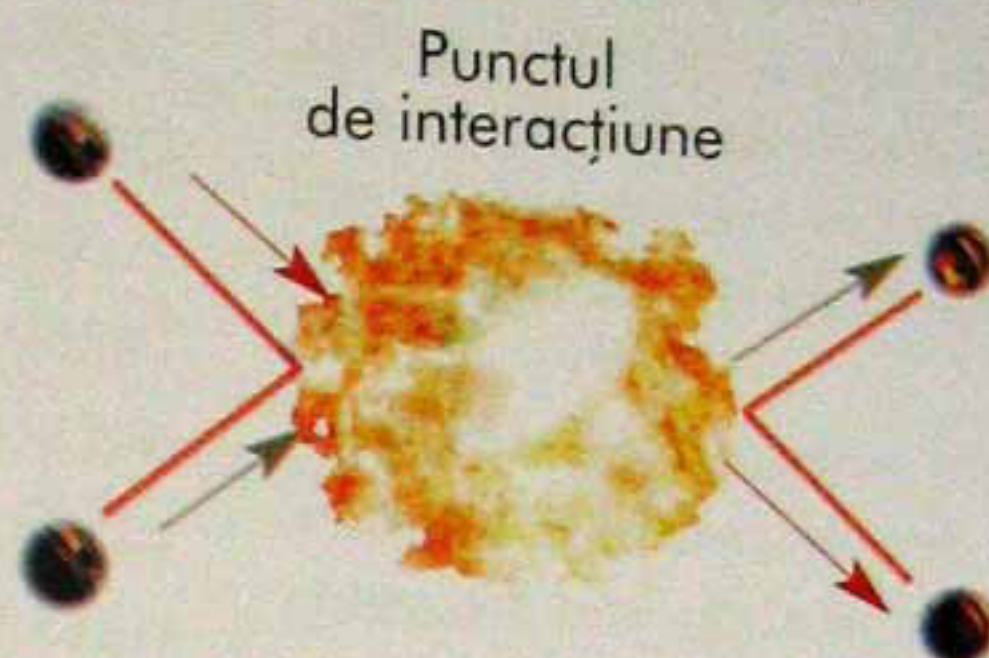
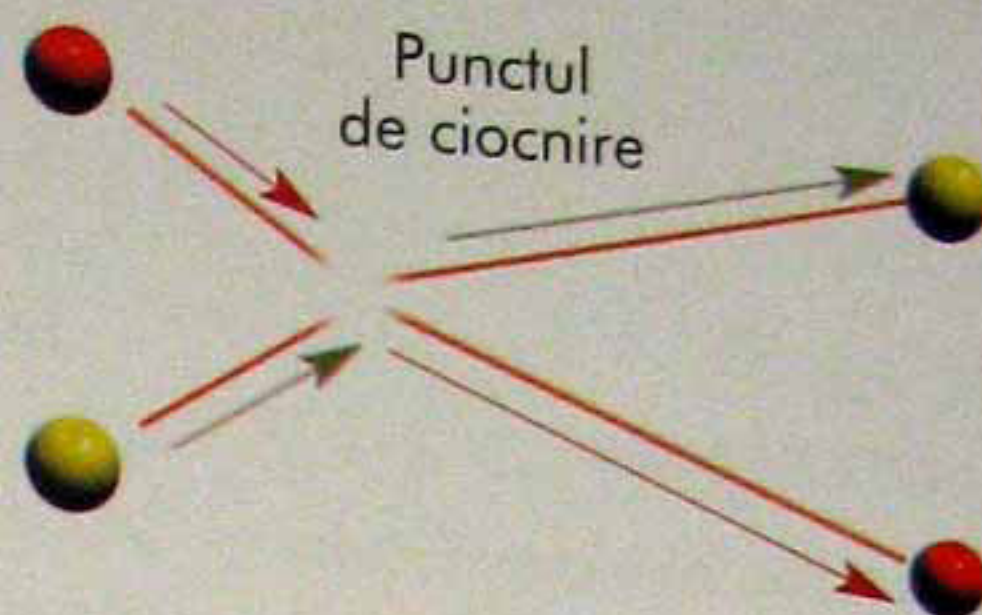
**1** Dacă particulele punctuale ar exista într-adevăr ca elemente discrete, ca niște bile de biliard, atunci când ele s-ar ciocni, drumurile lor ar fi deviate pe două traiectorii noi.

**2** Așa arată interacțiunea dintre două particule, deși efectul este mult mai dramatic.

**3** Teoria cuantică a câmpului prezintă două particule, cum ar fi electronul și antiparticula sa, pozitronul, care se ciocnesc. În acest proces, ele se anihilează foarte repede una pe alta într-o declanșare violentă de energie, creînd un foton. Acesta din urmă își eliberează energia, producînd o altă pereche electron-pozitron. Apare în continuare ca și cum particulele ar fi deviate pe traiectorii noi.

**4** Dacă particulele nu sînt puncte de dimensiuni zero, ci corzi unidimensionale în care bucele oscilante vibrează ca un electron și un pozitron, atunci, în momentul ciocnirii, ele se anihilează reciproc, creînd o coardă nouă, cu o altă formă de vibrație. Eliberînd energie, ea se împarte în două corzi care își continuă drumul pe traiectorii noi.

**5** În cazul în care corzile inițiale sînt reprezentate nu ca momente discrete, ci ca istorii neîntrerupte în timp, atunci corzile care rezultă apar ca o coardă-suprafață de univers.





(Fig. 2.14, pag. 53)

#### OSCILAȚIILE CORZILOR

În teoria corzilor, obiectele fundamentale nu sînt particulele care ocupă un singur punct în spațiu, ci corzile unidimensionale. Aceste corzi pot avea capete sau se pot uni la capete formînd bucle închise.

Întocmai corzilor unei viori, corzile din teorie prezintă anumite moduri de vibrații, sau frecvențe rezonante, ale căror lungimi de undă se potrivesc exact între cele două capete.

Dar, în timp ce diferitele frecvențe rezonante ale corzilor de vioară dau naștere diferitelor note muzicale, diferitele oscilații ale unei corzi dau naștere diferitelor mase și sarcini ale forțelor, care sînt interpretate ca particule fundamentale. Simplificînd lucrurile, cu cît este mai mică lungimea de undă a oscilațiilor unei corzi, cu atît este mai mare masa particulei.

Energiile stării fundamentale a bosonilor, cîmpuri al căror spin e un număr întreg (0, 1, 2 etc.), sînt pozitive. Pe de altă parte, energiile stării fundamentale a fermionilor, cîmpuri al căror spin e semiîntreg ( $1/2$ ,  $3/2$  etc.), sînt negative. Deoarece există un număr egal de bosoni și fermioni, în teoriile supergravitației infinitii cei mai mari se anulează (Fig. 2.13, pag. 50).

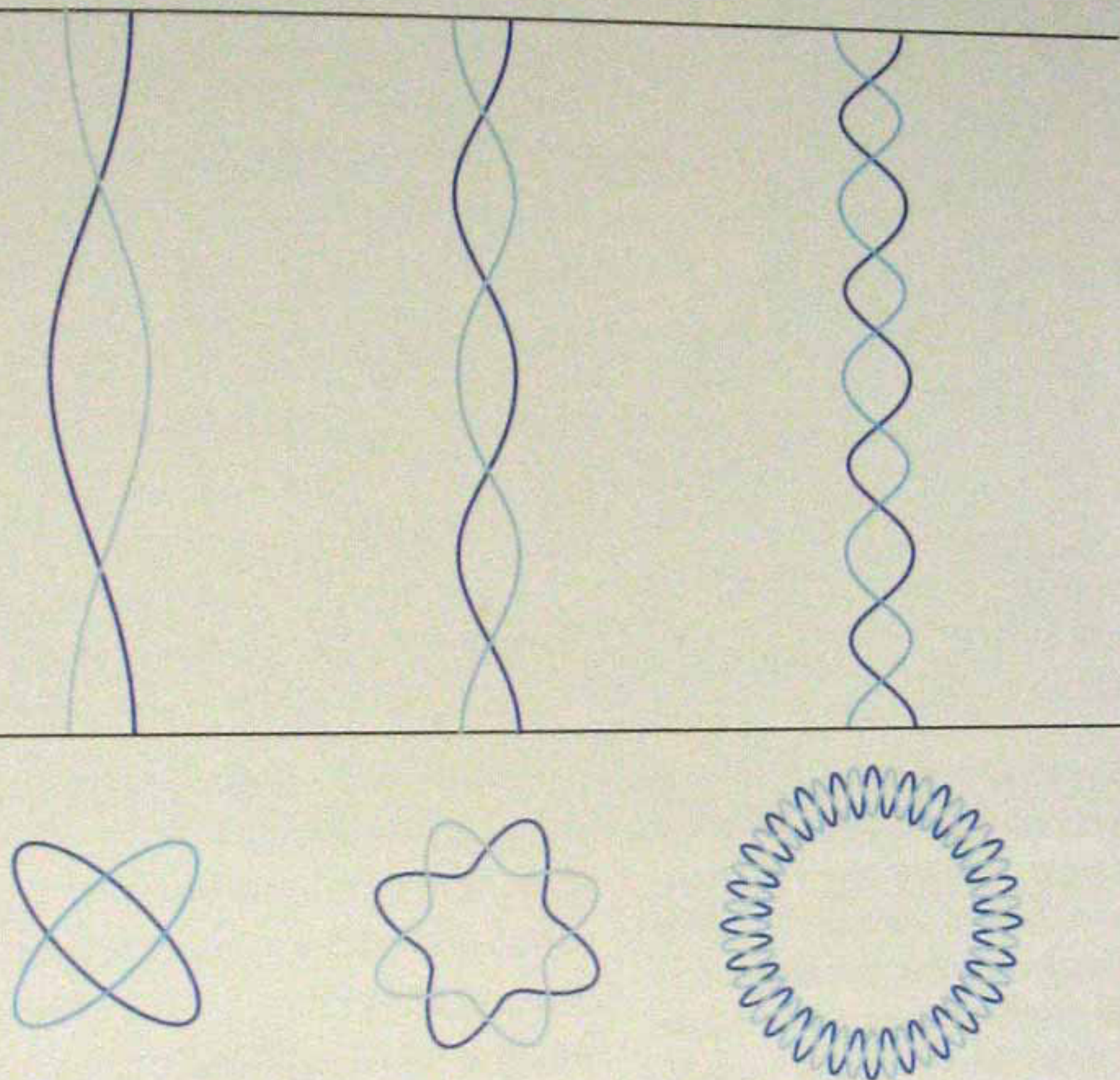
Era posibil să existe cantități mai mici, dar tot infinite, rămase pe dinafară. Nimeni n-a avut răbdarea să calculeze dacă aceste teorii sînt cu adevărat complet finite. S-a estimat că unui student bun i-ar lua o sută de ani, dar de unde să știi că n-a făcut vreo greșeală la pagina a doua? Pînă în 1985 însă, cei mai mulți credeau că majoritatea teoriilor supergravitației supersimetrice nu conțineau infiniti.

Apoi, moda s-a schimbat brusc. S-a spus că nu există motive pentru ca infinitii să nu apară în teoriile supergravitației, iar afirmația era interpretată în sensul că teoriile aveau vicii fatale. În schimb, se pretindea că o teorie, numită teoria supersimetrică a corzilor, era singura cale de a combina gravitația cu teoria cuantică. La fel ca omonimele lor din viața de zi cu zi, corzile sînt obiecte extinse într-o singură dimensiune. Ele au numai lungime. Corzile din teoria corzilor se mișcă într-un cadru spațio-temporal. Vibrațiile corzii sînt interpretate ca reprezentînd particule (Fig. 2.14).

Dacă corzile au dimensiuni Grassmann și dimensiuni în numere obișnuite, vibrațiile vor corespunde bosonilor și fermionilor. În acest caz, energiile pozitive și negative ale stării fundamentale se vor anula atît de exact, încît nu vor mai exista deloc infiniti, nici de tip mai mic. Se afirma că supercorzile erau TOE, *Theory of Everything*, teoria despre tot.

Pentru istoricii din viitor ai științei va fi interesant să descopere valul care a produs schimbarea de opinie în rîndul fizicienilor teoreticieni. Vreme de cîțiva ani, corzile au domnit suveran, iar supergravitația a fost respinsă ca fiind doar o teorie aproximativă, valabilă la energii joase. Expresia „energie joasă” era considerată peiorativă, chiar dacă în acest context era vorba de particule cu energii mai mici decît un miliard de





miliarde de ori energia unei explozii de TNT. Dacă supergravitația ar fi fost numai o aproximație la energii joase, ea n-ar fi putut pretinde că e teoria fundamentală a universului. Teoria de bază era considerată a fi una dintre cele cinci teorii posibile ale supercorzilor. Dar care din cele cinci teorii ale corzilor descria universul nostru? Și cum putea fi formulată teoria corzilor dincolo de aproximația în care corzile erau reprezentate ca suprafețe cu o dimensiune spațială și o dimensiune temporală aflate în mișcare printr-un mediu spațio-temporal plat? N-ar fi curbat corzile mediul spațio-temporal?



Treptat, după 1985, a devenit clar că teoria corzilor nu reprezenta o descriere completă. În primul rând, s-a înțeles că ele constituie doar un membru al unei clase largi de obiecte ce pot fi extinse la mai mult de o dimensiune. Paul Townsend care, ca și mine, e membru al Departamentului de Matematică Aplicată și Fizică Teoretică de la Cambridge și care a participat activ la cercetarea fundamentală asupra acestor obiecte, le-a dat numele de „p-brane”. O p-brană are lungime în  $p$  direcții. Astfel, o brană cu  $p = 1$  este o coardă, o brană cu  $p = 2$  este o suprafață sau o membrană și așa mai departe (Fig. 2.15). Nu par să existe motive pentru a favoriza cazul  $p = 1$  al corzilor față de celelalte valori posibile ale lui  $p$ . Trebuie să adoptăm principiul democrației p-branelor: toate p-branele sînt create egale.

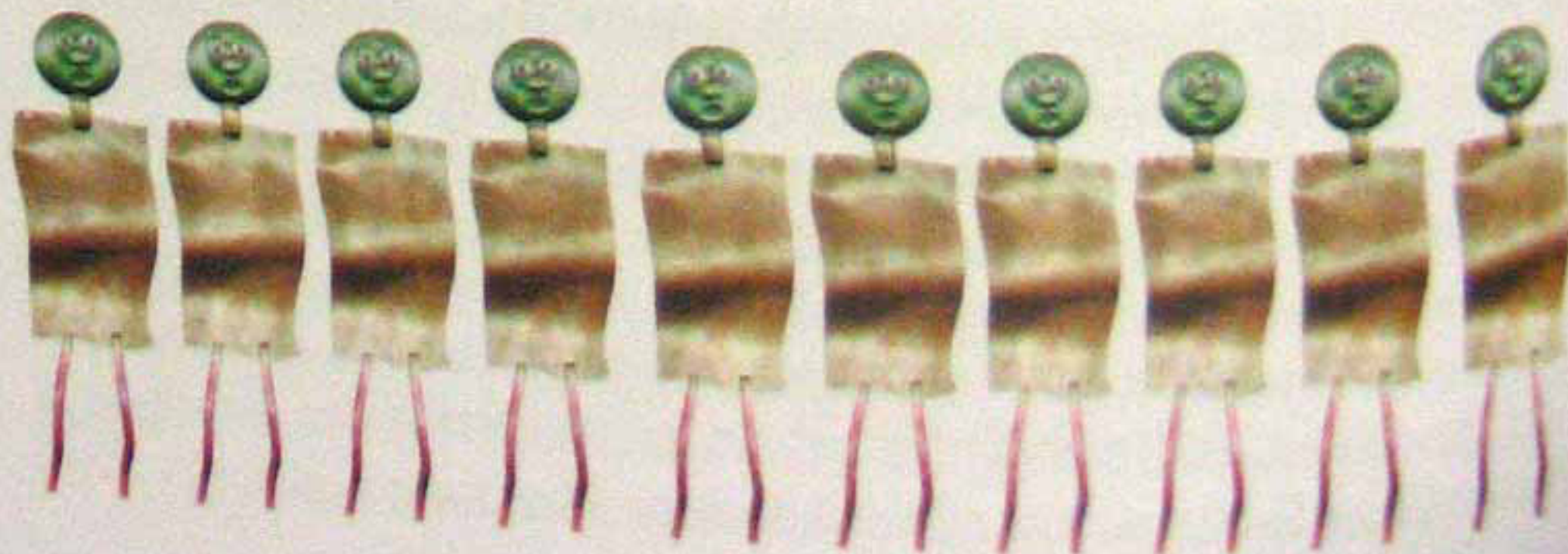
Toate p-branele pot fi găsite ca soluții ale ecuațiilor teoriei supergravitației în 10 sau 11 dimensiuni. Deoarece 10 sau 11 dimensiuni nu se potrivesc cu spațiu-timpul în care trăim, s-a avansat ideea că celelalte 6 sau 7 dimensiuni sînt înfășurate atît de strîns, încît nu le observăm, astfel că sîntem conștienți numai de cele patru dimensiuni rămase mari și aproape plate.

Trebuie să spun că am fost reticent în privința dimensiunilor suplimentare. Dar, cum eu sînt pozitivist, întrebarea „Există în realitate dimensiuni suplimentare?” nu are sens pentru mine. Ne putem întreba doar dacă modelele matematice oferă o bună descriere a universului. Nu există încă nici o observație care să necesite dimensiuni suplimentare pentru explicarea ei. Aceste dimensiuni ar putea fi însă observate la Marele Accelerator de Hadroni din Geneva. Dar ceea ce i-a convins pe

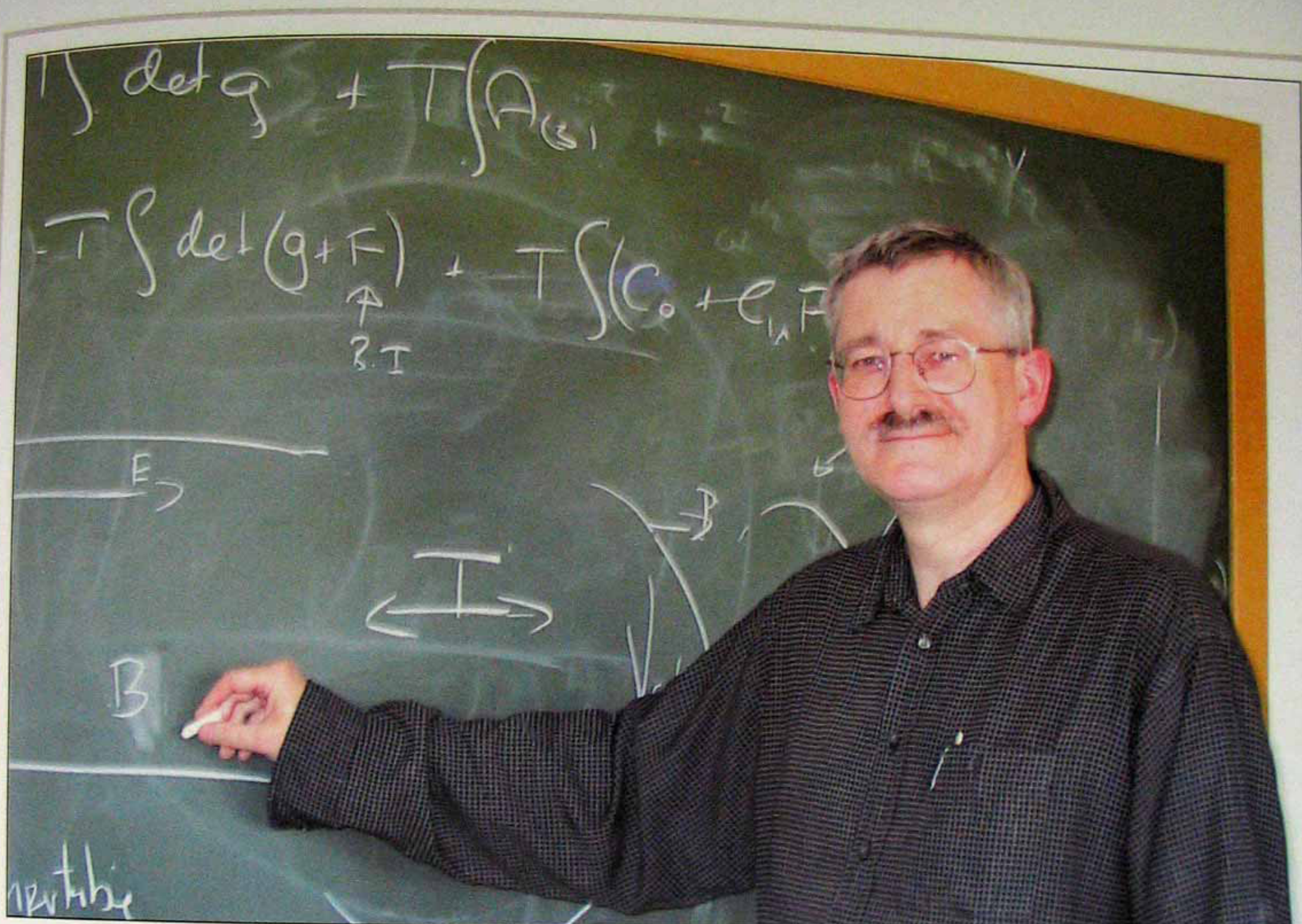
(Fig. 2.15) P-BRANELE

P-branele sînt obiecte extinse în  $p$  dimensiuni. Cazuri particulare sînt corzile, care au  $p = 1$  și membranele, pentru care  $p = 2$ , dar sînt posibile și valori mai mari în spațiu-timpul cu zece sau unsprezece dimensiuni. Deseori, unele, sau chiar toate p-dimensiunile, sînt înfășurate ca un tor.

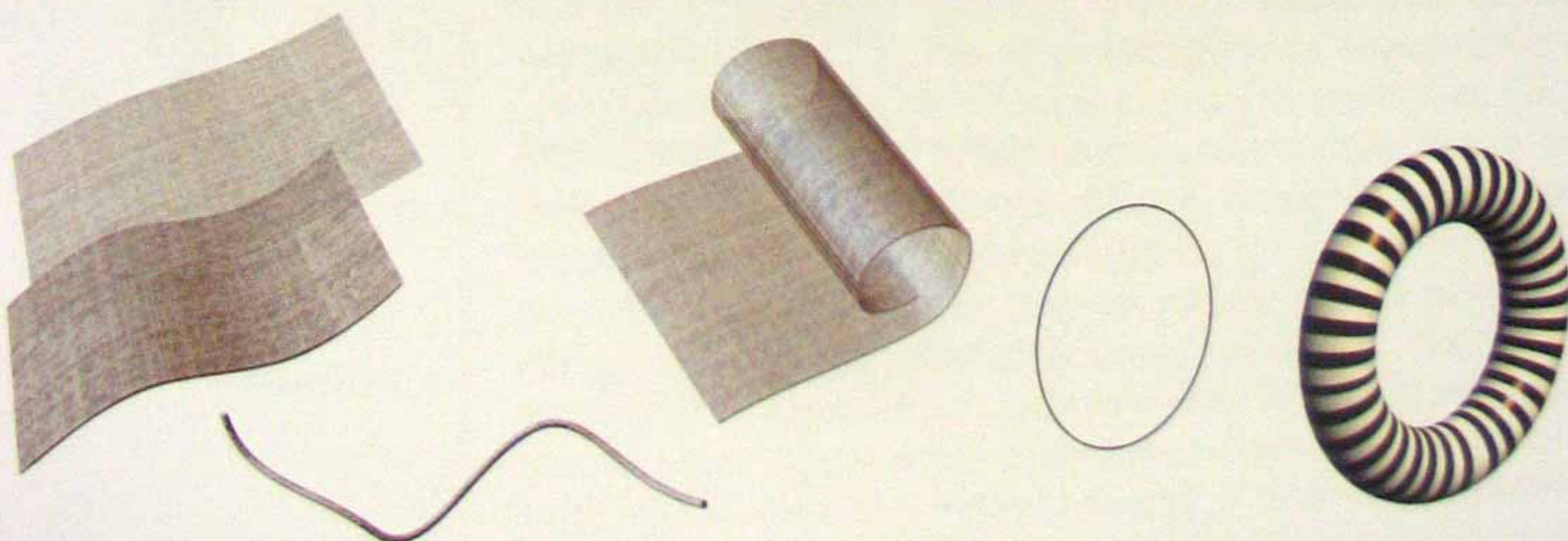
*E de la sine înțeles:  
toate p-branele  
sînt create egale!*







Paul Townsend, părintele p-branelor



Urzeala spațială a universului nostru poate conține și dimensiuni extinse, și dimensiuni închise în ele însele. Membranele pot fi mai ușor vizualizate dacă sînt înfășurate.

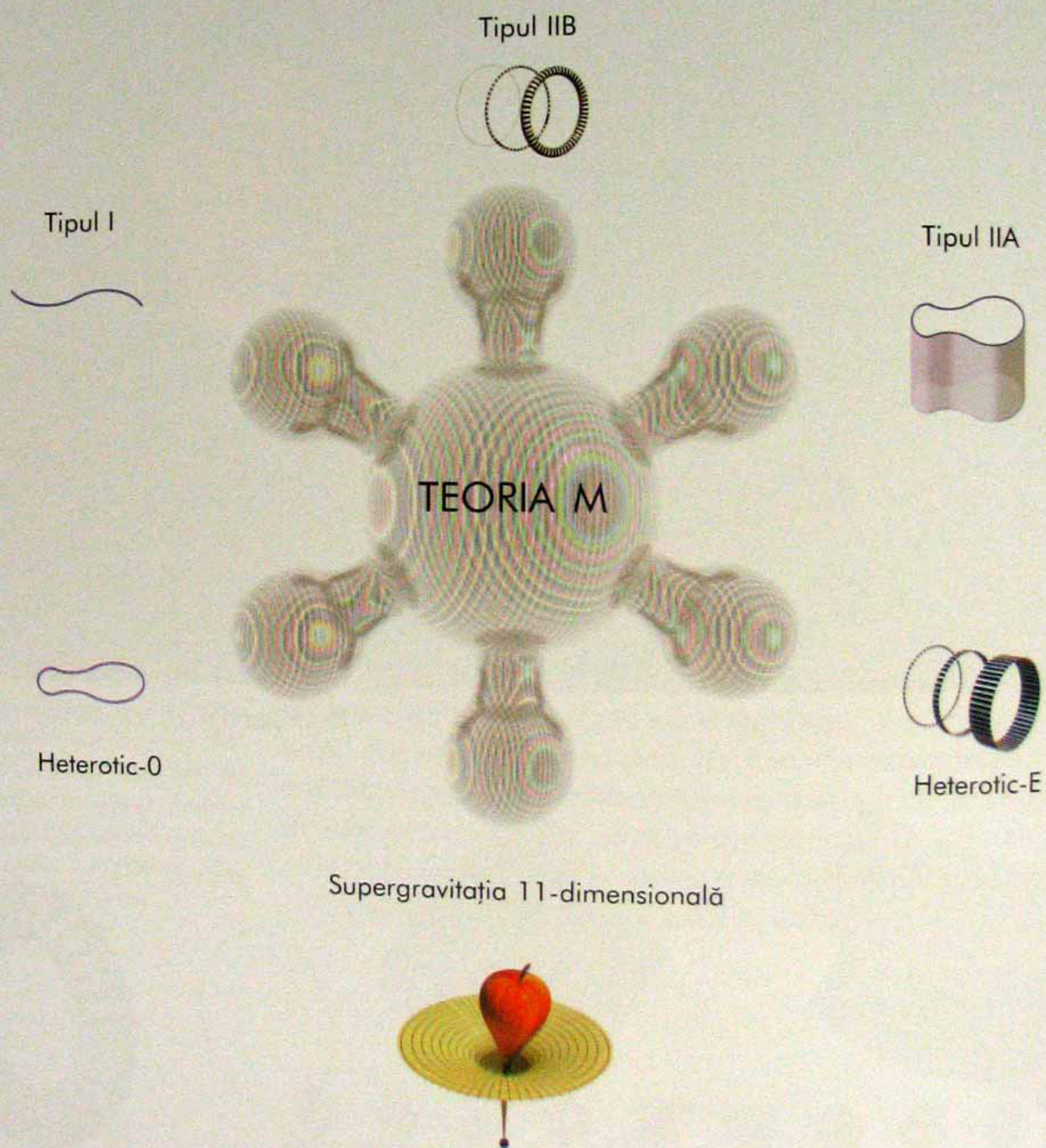
O 1-brană, sau o coardă înfășurată

O foaie de 2-brană înfășurată ca un tor



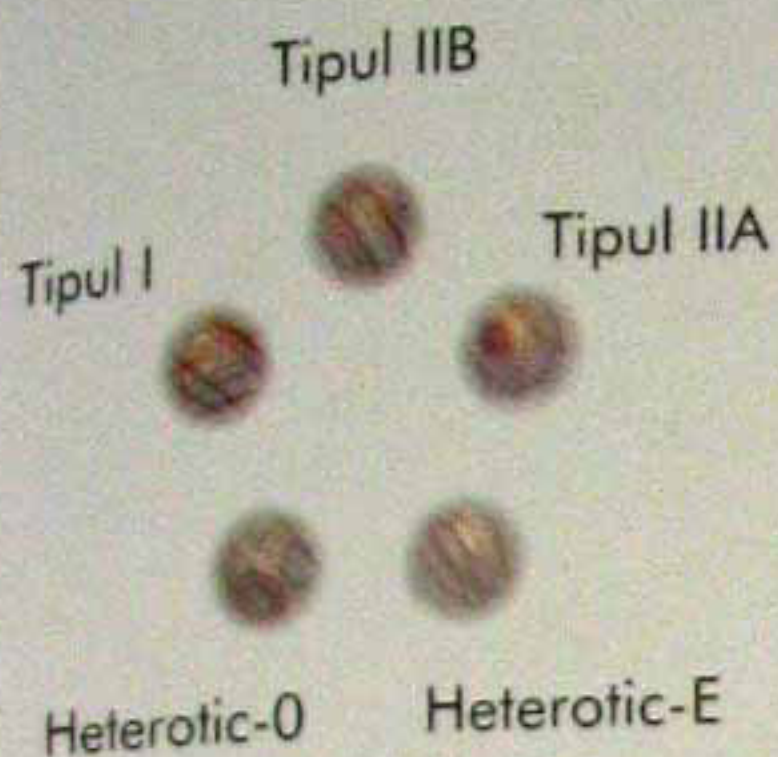


(Fig. 2.16) UN CADRU UNIFICAT?

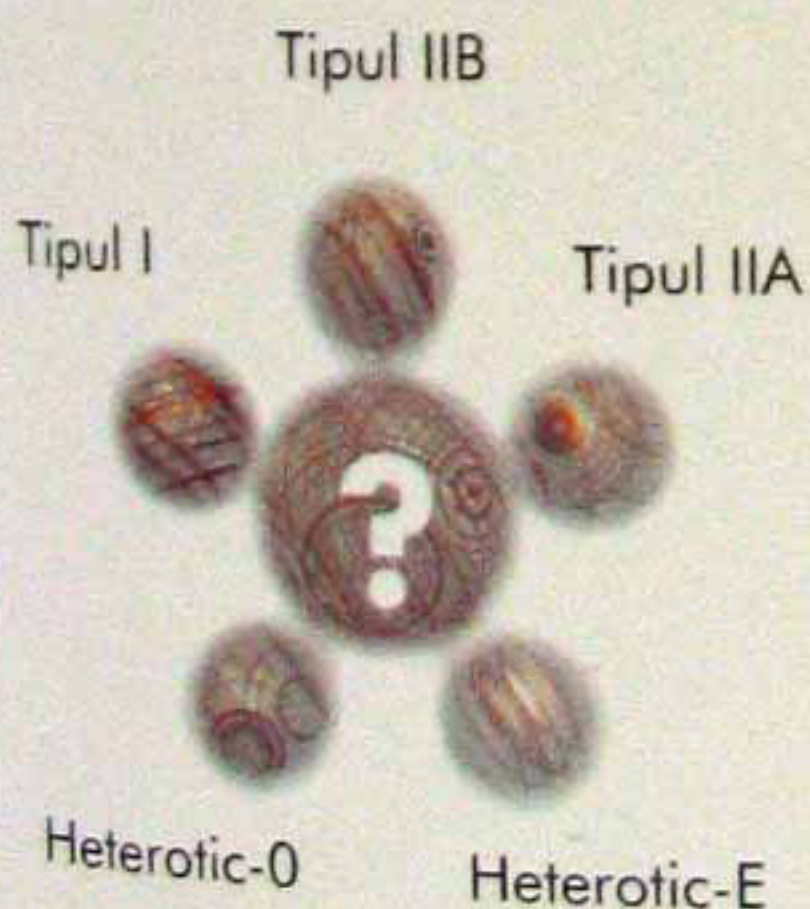


Există o rețea de relații, așa-numitele dualități, care leagă toate cele cinci teorii ale corzilor, precum și supergravitația cu 11 dimensiuni. Dualitățile sugerează că diferitele teorii ale corzilor reprezintă doar expresii diferite ale aceleiași teorii fundamentale, teoria M.





Înainte de jumătatea anilor '90, se părea că există cinci teorii distincte ale corzilor, fiecare separată, fără legături cu celelalte.



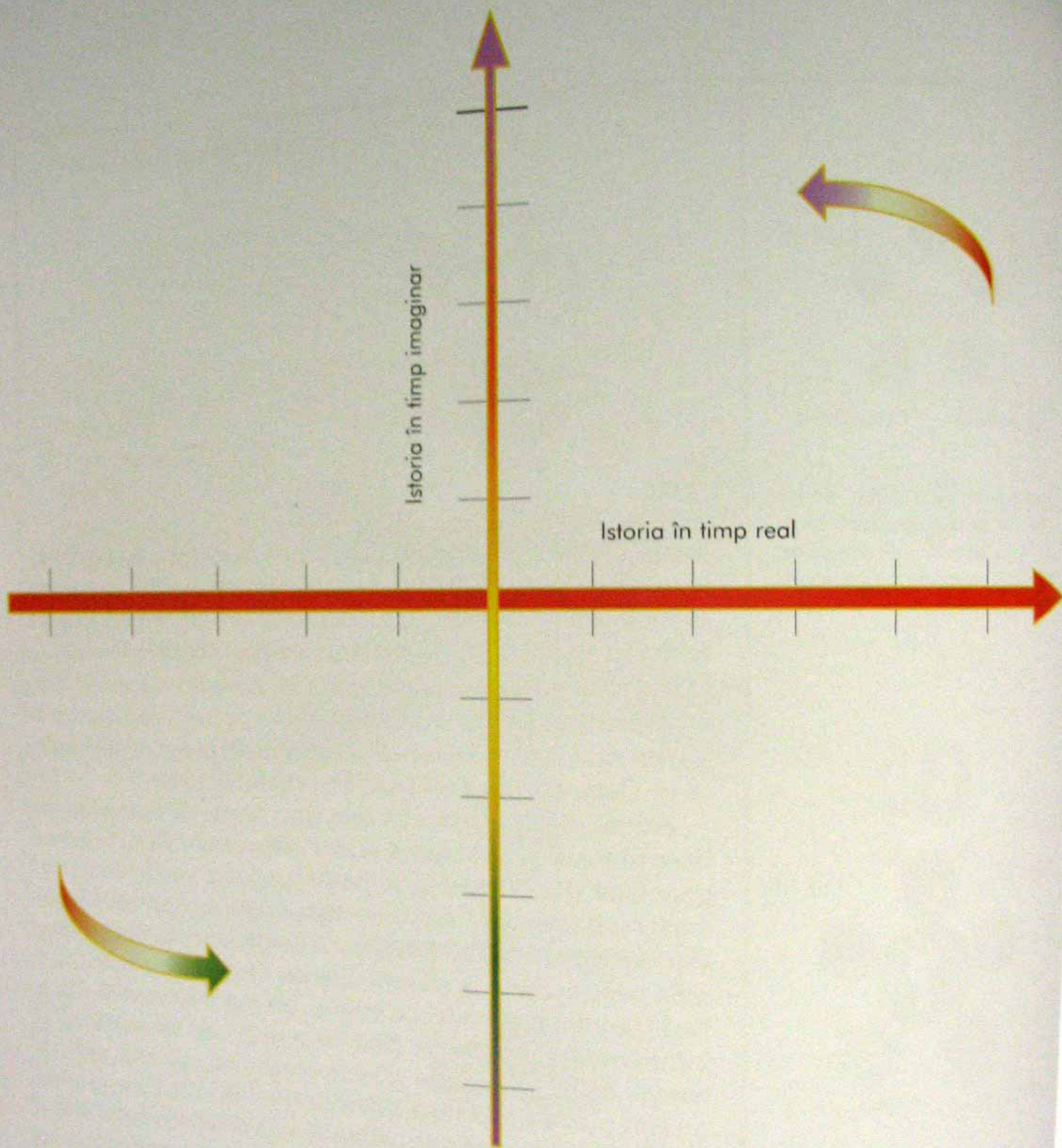
Teoria M unește cele cinci teorii ale corzilor într-un singur cadru teoretic, dar multe proprietăți rămân încă neînțelese.

mulți, inclusiv pe mine, să ia în serios modelul a fost existența unei rețele de relații neașteptate, numite dualități, care leagă modelele. Dualitățile arată că modelele sînt în mod esențial echivalente, adică reprezintă doar aspecte diferite ale aceleiași teorii fundamentale, numită teoria M. A nu privi această rețea de dualități ca pe un semn că ne aflăm pe calea cea bună e ca și cum am crede că Dumnezeu a pus fosile în roci ca să-l inducă pe Darwin în eroare în privința evoluției vieții.

Aceste dualități arată că cele cinci teorii ale supercorzilor descriu toate aceeași fizică și sînt echivalente fizic cu supergravitația (Fig. 2.16). Nu se poate spune că supercorzile sînt „mai fundamentale” decît supergravitația, sau invers. Ele sînt expresii diferite ale aceleiași teorii fundamentale, fiecare fiind utilă pentru calcul în situații diferite. Deoarece teoriile corzilor nu conțin nici un fel de infinit, ele pot fi folosite la calculul mărimilor ce intervin cînd un număr mic de particule la energii înalte se ciocnesc și se împrăștiie una pe alta. Dar ele nu sînt prea utile pentru a descrie felul în care energia unui număr mare de particule curbează universul sau formează o stare legată, cum ar fi o gaură neagră. Pentru aceste situații e nevoie de supergravitație, care e în fond teoria lui Einstein a spațiu-timpului curbat, cu cîteva tipuri de materie în plus. În cele ce urmează voi folosi mai ales această reprezentare.

Pentru a descrie felul în care teoria cuantică dă formă timpului și spațiului, e util să introducem ideea de timp imagi-

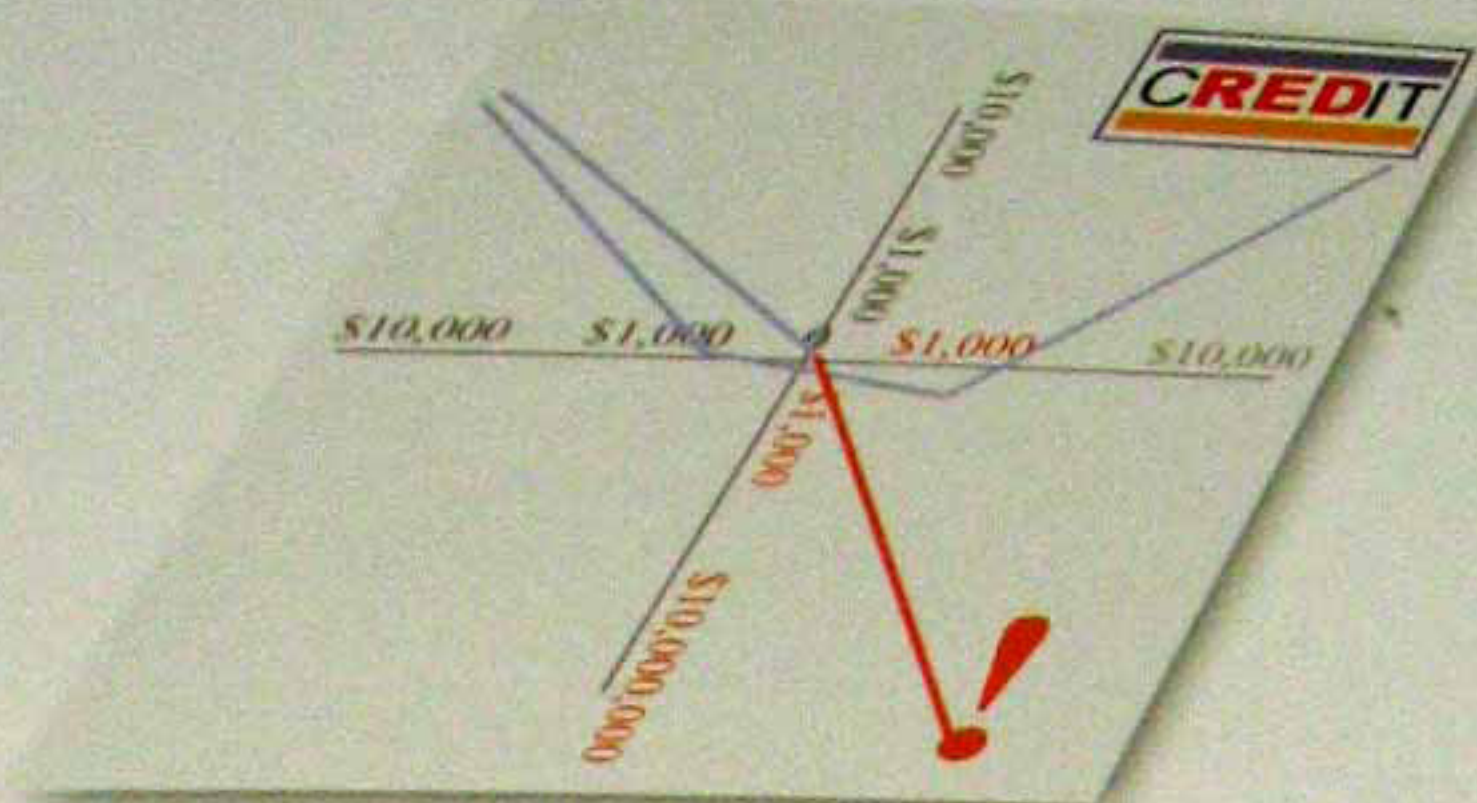




(Fig. 2.17)

Se poate construi un model matematic în care există o direcție a timpului imaginar perpendiculară pe timpul real obișnuit. Modelul are reguli care determină istoria din timpul imaginar în termeni ai istoriei din timpul real și invers.





nar. Timpul imaginar pare că ține de SF, dar e un concept matematic bine definit: timpul măsurat cu așa-numitele numere imaginare. Ne putem gândi că numerele obișnuite, cum ar fi 1, 2, -3, 5 etc., sînt reprezentate pe o linie dreaptă de la stînga la dreapta: zero în mijloc, numerele reale pozitive la dreapta și cele reale negative la stînga (Fig. 2.17).

Numerele imaginare pot fi reprezentate pe o linie verticală: zero este din nou la mijloc, numerele imaginare pozitive în sus, cele imaginare negative în jos. Astfel, numerele imaginare pot fi privite ca un nou tip de numere, perpendiculare pe numerele reale obișnuite. Deoarece sînt o construcție matematică, nu au nevoie de o întruchipare fizică; nu putem avea un număr imaginar de portocale sau o factură imaginară (Fig. 2.18).

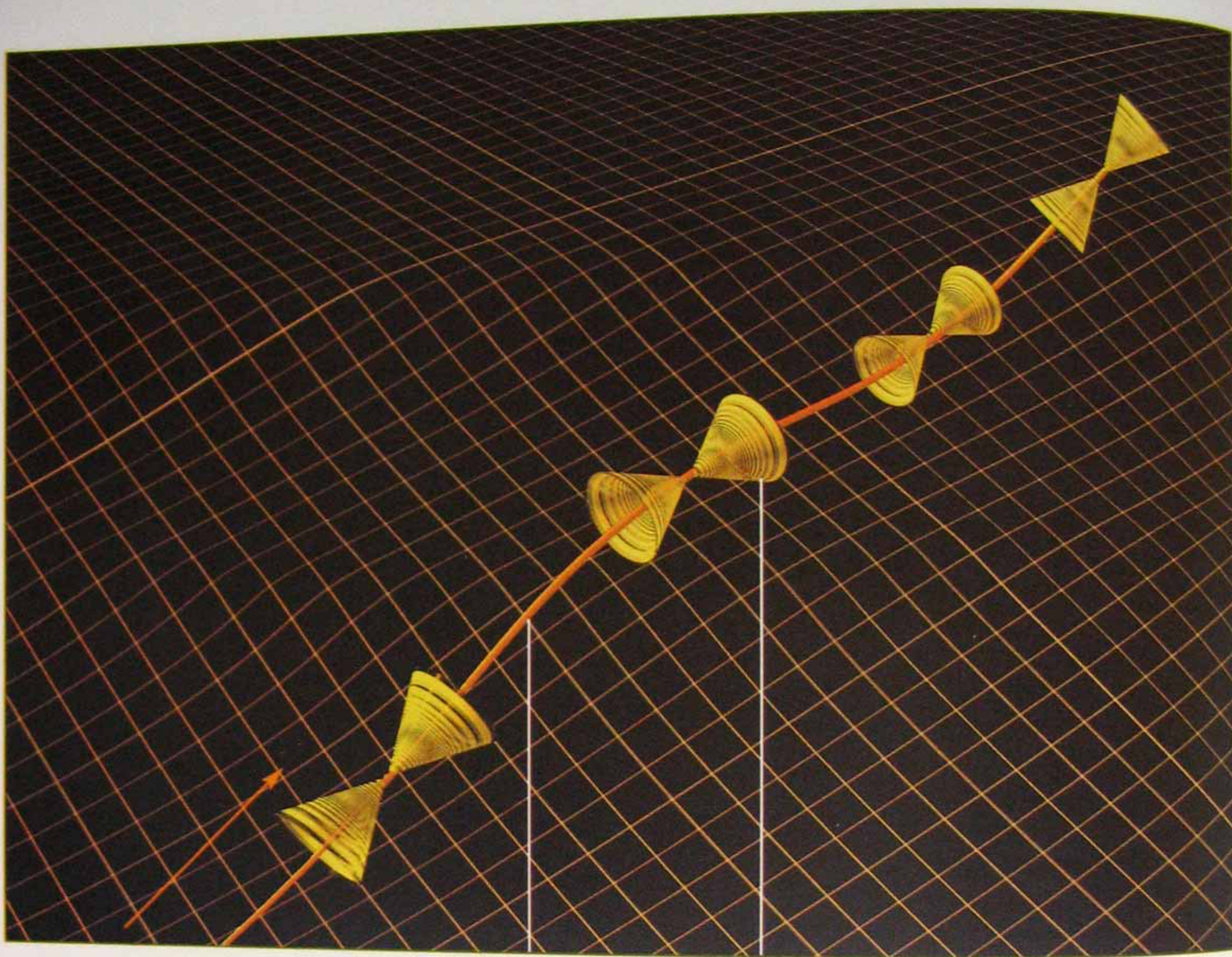
Putem crede deci că numerele imaginare sînt doar un joc matematic fără vreo legătură cu lumea reală. Dar, din perspectiva filozofiei pozitivistice, nu se poate spune ce e real. Tot ce putem face e să aflăm ce modele matematice descriu universul în care trăim. Se dovedește că modelul matematic care implică timpul imaginar prezice nu numai efecte deja observate, ci și efecte pe care nu am fost în stare să le punem în evidență, dar despre care credem, din alte motive, că apar. Așadar, ce e real și ce e imaginar? Nu cumva deosebirea există doar în mințile noastre?

Teoria clasică (necuantică) generală a relativității a lui Einstein combină timpul real și cele trei dimensiuni ale spațiului într-un spațiu-timp cvadridimensional. Dar direcția timpului

(Fig. 2.18)

Numerele imaginare sînt construcții matematice. Nu puteți plăti cu cartea de credit o sumă reprezentînd un număr imaginar.





Direcția timpului

Istoria observatorului

Conuri luminoase

(Fig. 2.19)

În spațiu-timpul real al teoriei clasice generale a relativității, timpul se deosebește de direcțiile spațiale deoarece el doar crește de-a lungul istoriei unui observator, spre deosebire de direcțiile spațiale, care pot să crească sau să descrească de-a lungul acestei istorii. Direcția timpului imaginar din teoria cuantică, pe de altă parte, e la fel ca o direcție spațială, așa încât poate să crească sau să descrească.

real se deosebește de cele trei direcții spațiale; linia lumii sau istoria unui observator crește mereu în direcția timpului real (adică timpul s-a deplasat mereu din trecut spre viitor), dar poate să crească sau să *descrească* în oricare dintre cele trei direcții spațiale. Cu alte cuvinte, se poate inversa direcția în spațiu, dar nu și în timp (Fig. 2.19).

Pe de altă parte, timpul imaginar fiind perpendicular pe timpul real, el se comportă ca o a patra direcție spațială. El poate, prin urmare, să aibă o gamă mult mai largă de posibilități decât calea ferată a timpului real obișnuit, care poate avea doar un început și un sfârșit, sau se poate învârti în cercuri. În acest sens imaginar, timpul are o formă.



(Fig. 2.20) TIMPUL IMAGINAR

Într-un spațiu-timp imaginar de forma unei sfere, direcția timpului imaginar ar putea fi distanța pînă la Polul Sud. Pe măsură ce înaintăm spre nord, cercurile de latitudine la distanță constantă de Polul Sud devin mai mari, corespunzînd universului în expansiune o dată cu timpul imaginar. Universul ar atinge dimensiunile maxime la ecuator și apoi s-ar contracta din nou cu creșterea timpului imaginar, pînă la un singur punct, în Polul Nord. Chiar dacă universul ar avea dimensiunea zero la poli, aceste puncte nu ar fi singularități, așa cum Polul Nord și Polul Sud de pe suprafața Pămîntului sînt puncte perfect regulate. Aceasta sugerează că originea universului în timpul imaginar ar putea fi un punct regulat din spațiu-timp.



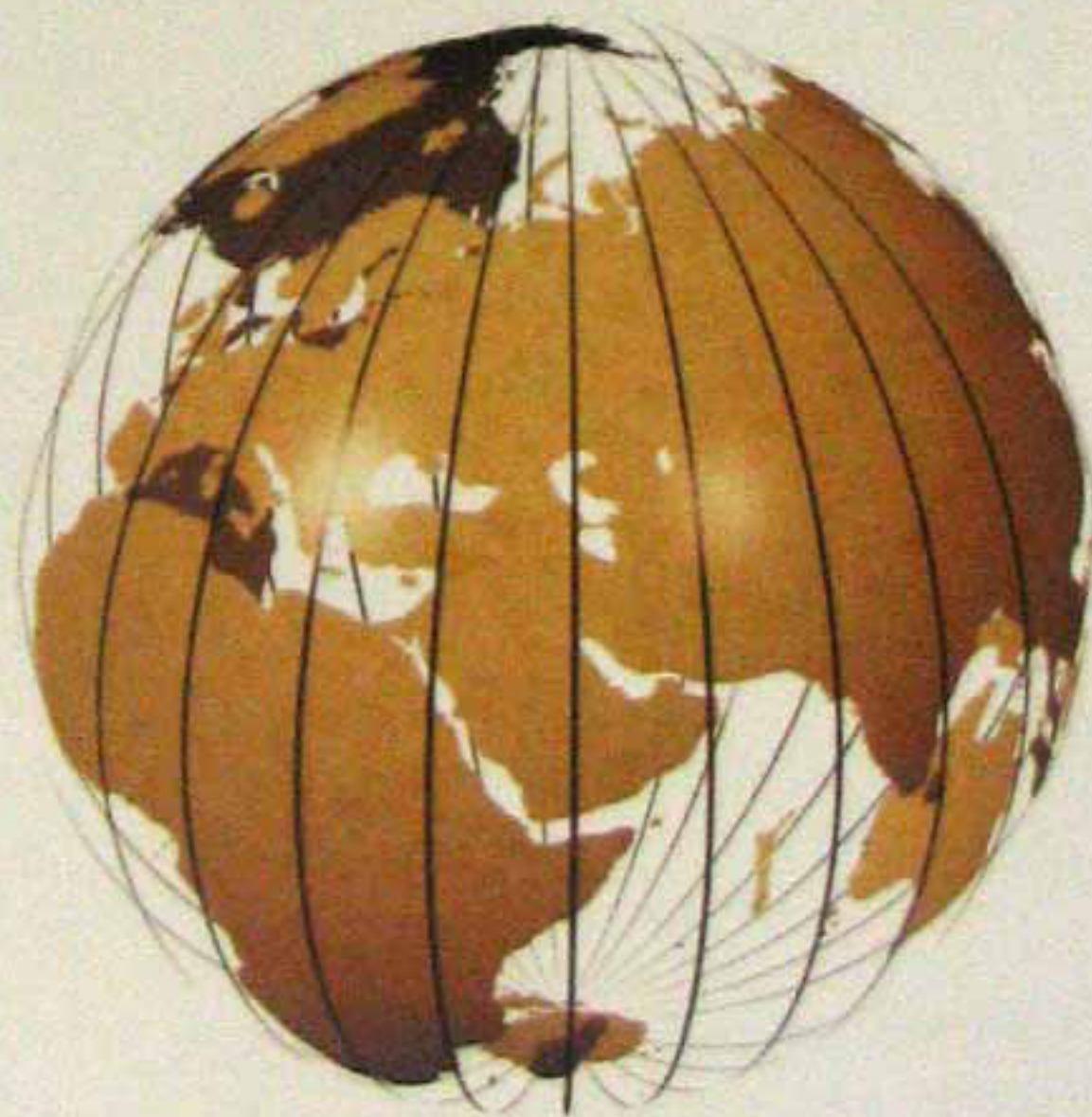
S

Timpul imaginar  
ca grade de latitudine

N

(Fig. 2.21)

În locul gradelor de latitudine, direcția timpului imaginar într-un spațiu-timp de forma unei sfere ar putea de asemenea corespunde gradelor de longitudine. Deoarece toate liniile de longitudine se întîlnesc la Polul Nord și la Polul Sud, timpul se oprește la poli, iar o creștere a timpului imaginar ne lasă în același loc, exact ca atunci cînd, aflîndu-te la Polul Nord și mergînd spre vest, rămîi de fapt tot la Polul Nord.



Timpul imaginar ca grade  
de longitudine care se întîlnesc  
la Polul Nord și la Polul Sud





Informația care cade  
într-o gaură neagră



Informația  
re-stocată

Formula ariei pentru entropia — sau numărul stărilor interne — unei găuri negre ne sugerează că informația despre ceea ce cade într-o gaură neagră poate fi stocată ca pe un disc și poate fi redată atunci când gaura neagră se evaporă.



Pentru a examina cîteva dintre aceste posibilități, să considerăm un spațiu-timp imaginar de forma unei sfere, ca suprafața Pămîntului. Să presupunem că timpul imaginar ar fi reprezentat de gradele de latitudine (Fig. 2.20, vezi pag. 61). Atunci, istoria universului în timpul imaginar ar începe la Polul Sud. Nu ar avea sens să ne întrebăm „Ce s-a întîmplat înainte de început?” Astfel de momente anterioare pur și simplu nu sînt definite, la fel cum nu sînt definite punctele aflate la sud de Polul Sud. Polul Sud e un punct perfect regulat al suprafeței Pămîntului și aici acționează aceleași legi ca în celelalte puncte. Aceasta sugerează că începutul universului în termenii timpului imaginar poate fi un punct regulat al spațiu-timpului și că aceleași legi sînt valabile la începutul, ca și în restul universului. (Originea și evoluția cuantică a universului vor fi discutate în capitolul următor.)

O altă comportare posibilă e ilustrată reprezentînd timpul imaginar prin gradele de longitudine ale Pămîntului. Toate liniile de longitudine se întîlnesc la Polul Nord și la Polul Sud (Fig. 2.21, vezi pag. 61). Acolo, timpul se oprește, în sensul că o creștere a timpului imaginar, sau a gradului de longitudine, te lasă în același loc, situație foarte asemănătoare cu felul în care se comportă timpul obișnuit care se oprește la orizontul unei găuri negre. Din această oprire a timpului real și imaginar (fie se opresc amîndouă, fie nici unul) deducem că spațiu-timpul are o temperatură, la fel cum am descoperit eu că se întîmplă în cazul găurilor negre. Găurile negre nu numai că au o temperatură, ci se comportă ca și cînd ar avea o mărime care se numește entropie. Entropia e o măsură a numărului stărilor interne (modurilor în care li se poate configura interiorul) pe care le poate avea o gaură neagră, fără a părea deloc diferită cuiva din afară, care îi poate observa doar masa, rotația și sarcina. Această entropie a găurii negre e dată de o formulă foarte simplă, pe care am descoperit-o în 1974. Entropia e proporțională cu aria orizontului găurii negre: există cîte un bit de informație despre starea internă a găurii negre pentru fiecare unitate fundamentală de arie a orizontului. Aceasta ne arată cît de profundă e legătura dintre gravitația cuantică

$$S = \frac{A k c^3}{4 \hbar G}$$

#### FORMULA ENTROPIEI GĂURII NEGRE

A	aria orizontului evenimentelor găurii negre
$\hbar$	constanta lui Planck
k	constanta lui Boltzmann
G	constanta gravitațională a lui Newton
c	viteza luminii
S	entropia





Chiar și un fragment minuscul al plăcii holografice în două dimensiuni conține destulă informație pentru a reconstrui întreaga imagine în trei dimensiuni a mărului.

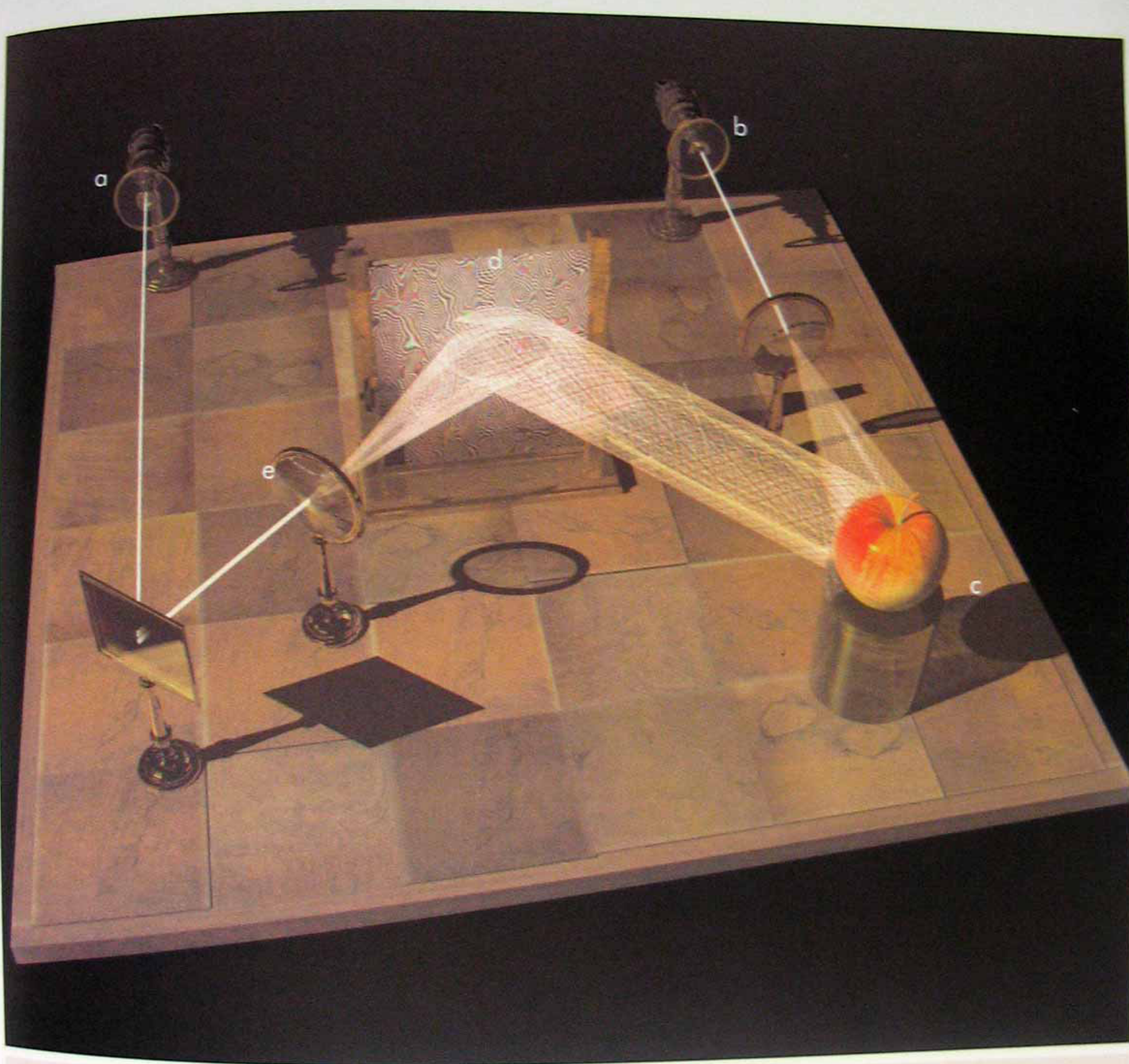
#### PRINCIPIUL HOLOGRAFIC

Înțelegerea faptului că aria suprafeței orizontului ce înconjoară o gaură neagră măsoară entropia ei i-a făcut pe savanți să susțină că entropia maximă a oricărei regiuni închise din spațiu nu poate depăși niciodată un sfert din aria care circumscrie suprafața. Deoarece entropia nu e altceva decât o măsură a informației totale conținute într-un sistem, aceasta ne sugerează că informația asociată cu toate fenomenele din lumea tridimensională poate fi stocată pe granița sa bidimensională, ca o imagine holografică. Într-un anumit sens, lumea ar fi deci bidimensională.

și termodinamică, știința căldurii (care include studiul entropiei). Ea sugerează totodată că gravitația cuantică poate prezenta fenomenul numit holografie (Fig. 2.22).

Informația despre stările cuantice dintr-o regiune a spațiu-timpului poate fi codificată cumva pe frontiera regiunii, care are două dimensiuni mai puțin. Aceasta seamănă cu felul în care o hologramă înmagazinează o imagine tridimensională pe o suprafață bidimensională. Dacă gravitația cuantică încorporează principiul holografic, am putea reuși să urmărim ce e în interiorul găurilor negre. E esențial să putem prezice radiația care iese din găurile negre. Dacă nu vom reuși, nu vom putea prezice viitorul atât de complet pe cât ne-am închipuit. Vom discuta subiectul în capitolul 4. Holografia e discutată din nou în capitolul 7. Se pare că trăim pe o 3-brană — o suprafață cvadridimensională (trei dimensiuni spațiale plus timpul) care e granița unei regiuni pentadimensionale, cu dimensiunile rămase înfășurate foarte strâns. Starea lumii de pe brană codifică ceea ce se întâmplă în regiunea pentadiimensională.





(Fig. 2.22) Holografia e în esență un fenomen de interferență a undelor. Hologramele sînt create atunci cînd lumina de la un singur laser e despicată în două raze separate **(a)** și **(b)**. Una dintre raze **(b)** proiectează obiectul **(c)** pe o placă fotosensibilă **(d)**. Cealaltă **(a)** trece printr-o lentilă **(e)** și se ciocnește cu lumina reflectată de la **(b)**, creînd o figură de interferență pe placă.

Dacă placa dezvoltată e iluminată de un laser, apare o imagine completă *tridimensională* a obiectului. Un observator se poate mișca în jurul acelei imagini holografice, putînd vedea toate fețele ascunse pe care o fotografie normală nu le poate înfățișa.

Spre deosebire de o fotografie obișnuită, suprafața bidimensională a plăcii are proprietatea remarcabilă că orice fragment mărunt al său conține toată informația necesară pentru a reconstrui întreaga imagine.



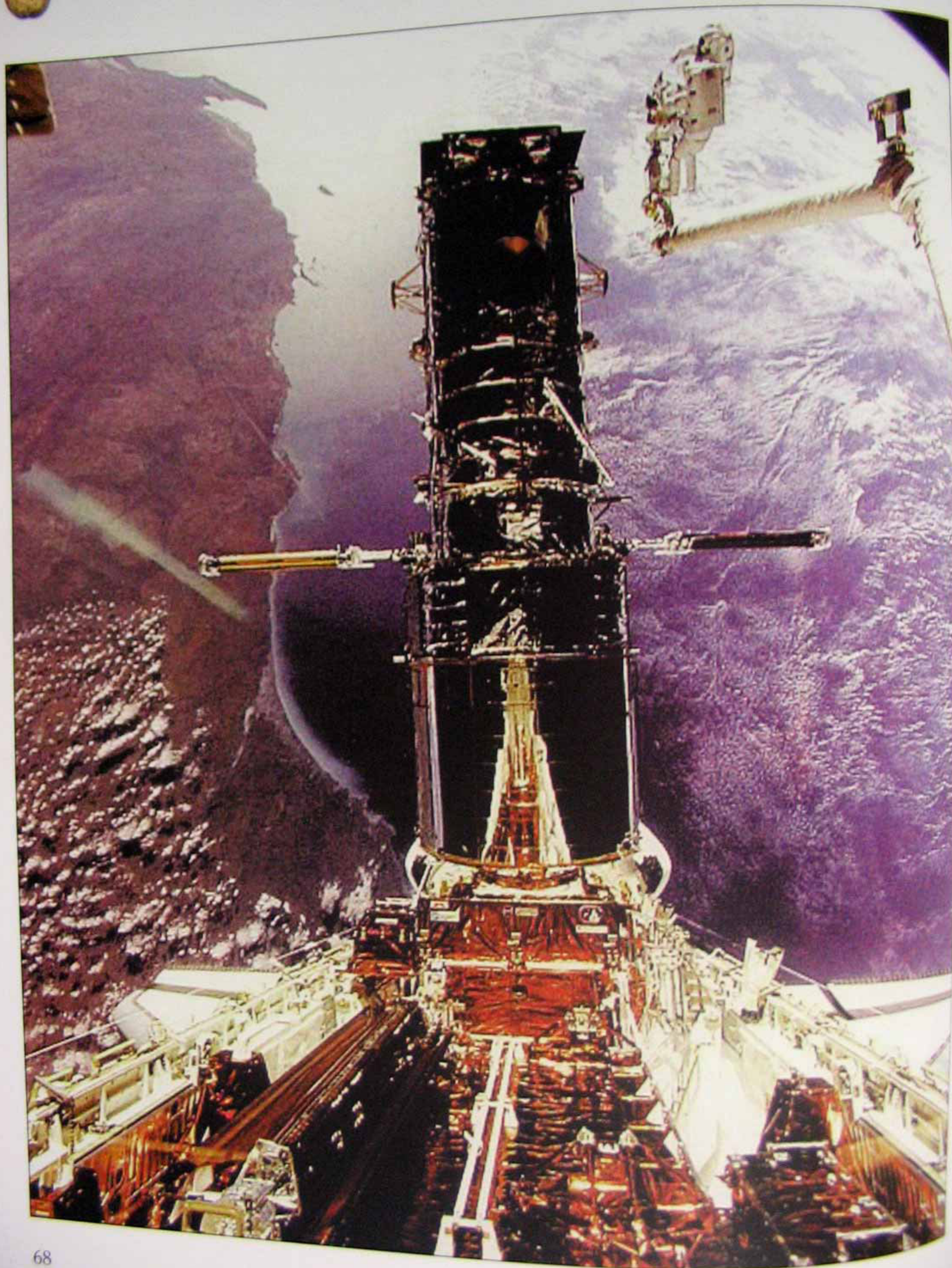
## CAPITOLUL 3

# Universul într-o coajă de nucă

*Universul are istorii multiple,  
fiecare dintre ele fiind determinată de o nucă mică.*









*Aș putea fi închis într-o coajă de nucă  
și să mă cred regele spațiului infinit,  
de n-ar fi însă visele urâte...*

Shakespeare,  
*Hamlet*, Act 2, Scena 2

**P**oate că Hamlet voia să spună că deși noi, ființele umane, sîntem limitate fizic, mințile noastre sînt libere să exploreze întregul univers și să meargă cu îndrăzneală acolo unde pînă și *Star Trek* se teme să pună piciorul — atît cît ne îngăduie visele rele.

De fapt, e oare universul infinit, sau numai foarte mare? E veșnic, sau are doar o viață lungă? Cum ar putea mintea noastră finită să înțeleagă un univers infinit? Nu-i o îndrăzneală prea mare fie și doar să încercăm? Riscăm oare soarta lui Prometeu, care, în mitologia clasică, a furat focul de la Zeus spre a-l da oamenilor, iar pentru cutezanța sa a fost pedepsit să stea înălțuit de o stîncă unde un vultur îi ciugulea ficatul?

În ciuda acestui mit-avertisment, eu cred că putem și trebuie să încercăm să înțelegem universul. Am făcut progrese remarcabile în înțelegerea cosmosului, mai ales în ultimii ani. Nu avem încă o imagine completă, dar nici departe nu sîntem.

Cel mai evident lucru despre spațiu e că se întinde și se tot întinde. Faptul a fost confirmat de instrumente moderne ca telescopul Hubble, care ne permite să sondăm adînc în spațiu. Ceea ce vedem sînt miliarde și miliarde de galaxii de diverse forme și mărimi (vezi pag. 70, Fig. 3.1). Fiecare galaxie conține nenumărate miliarde de stele, multe dintre ele avînd planete în jurul lor. Trăim pe o planetă ce se mișcă pe o orbită în jurul



Deasupra: Prometeu. Pictură de pe un vas etrusc, secolul VI î.Cr.

Stînga: Lentilele și oglinzile telescopului spațial Hubble pregătite pentru o misiune spațială. Jos se vede Australia.





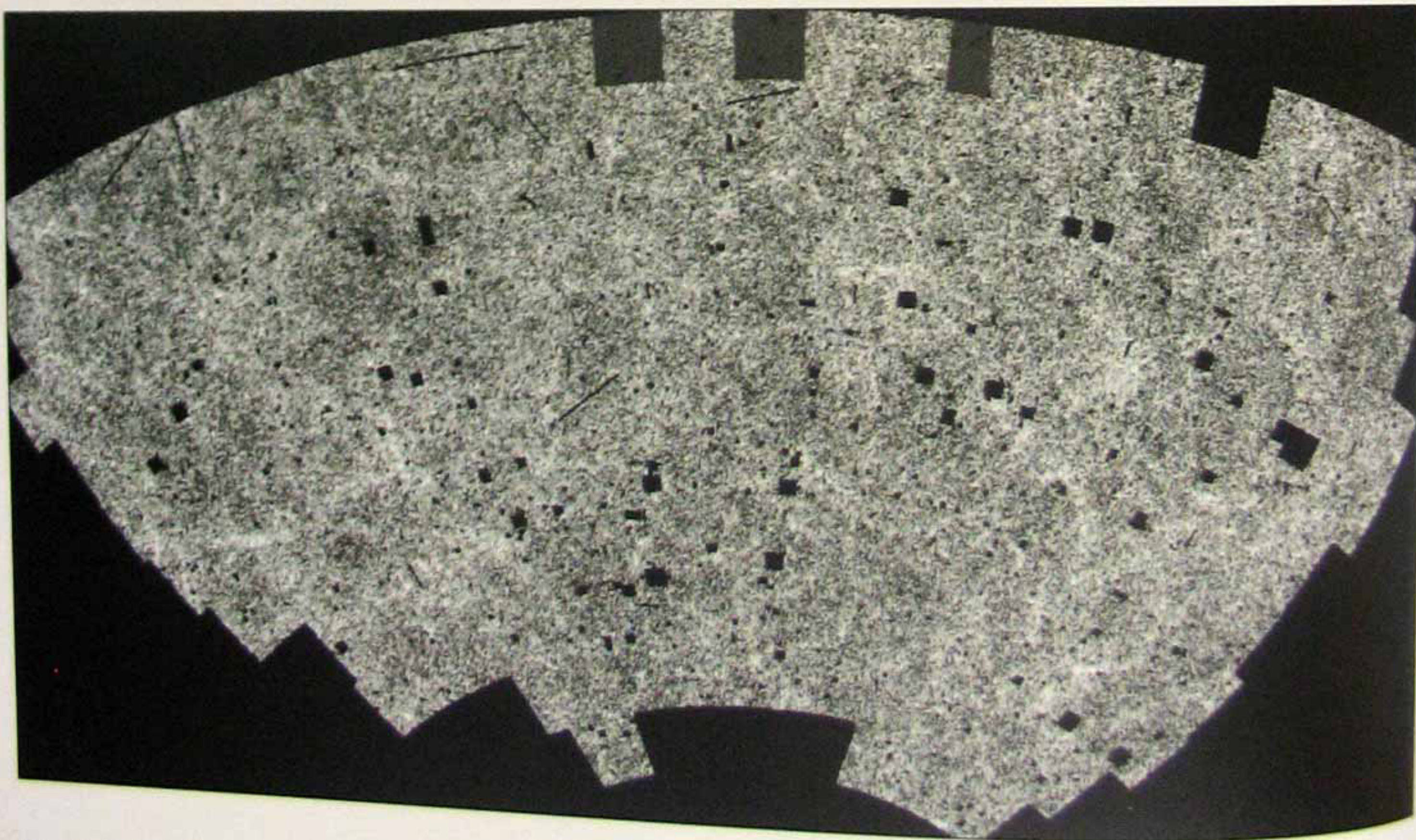
*Galaxia spirală NGC 4414*



*Galaxia spirală NGC 4314*

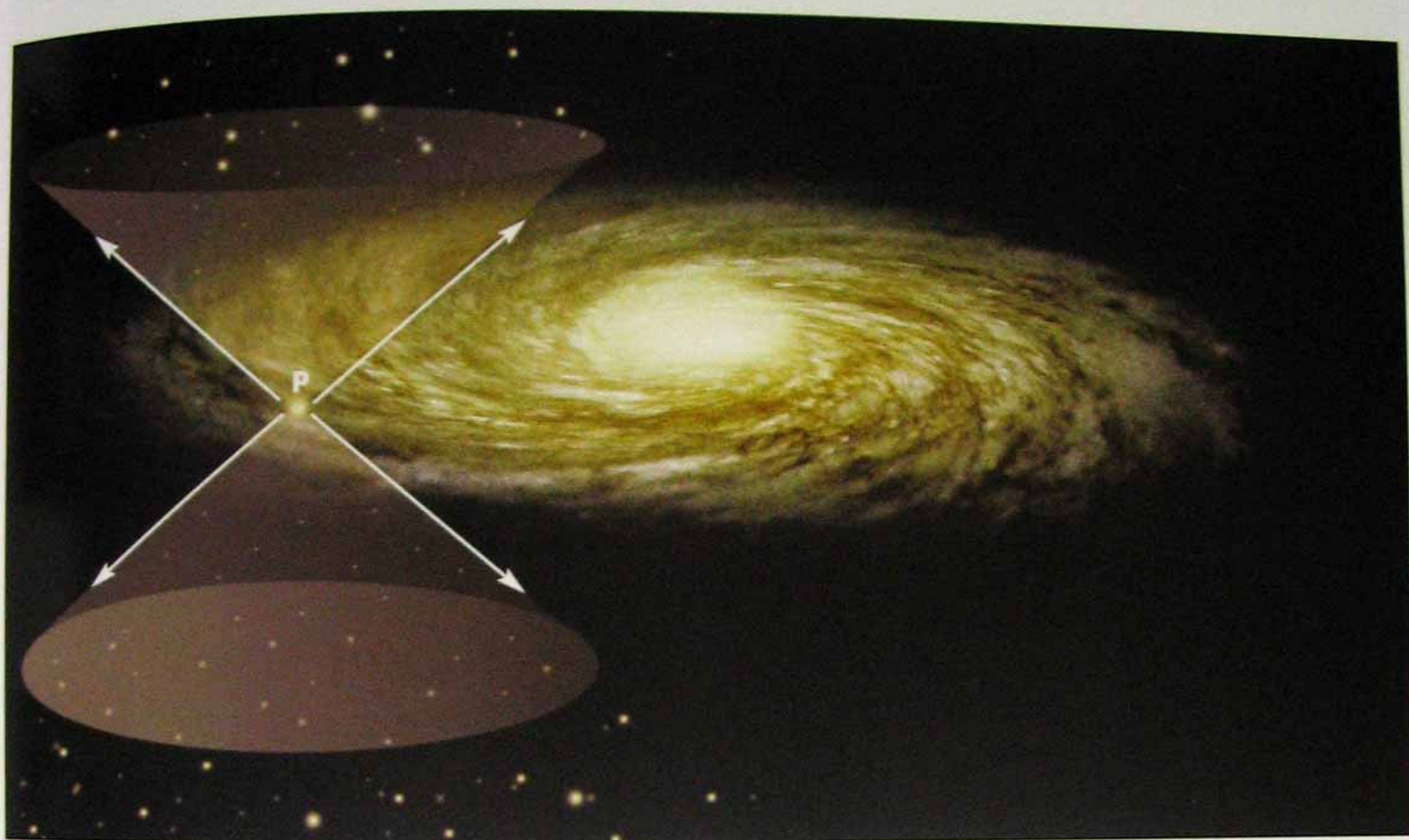


*Galaxia eliptică NGC 147*



(Fig. 3.1) Când privim adânc în univers, vedem miliarde și miliarde de galaxii. Galaxiile pot avea diverse forme și dimensiuni; pot fi eliptice sau spirale, ca propria noastră Cale Lactee.





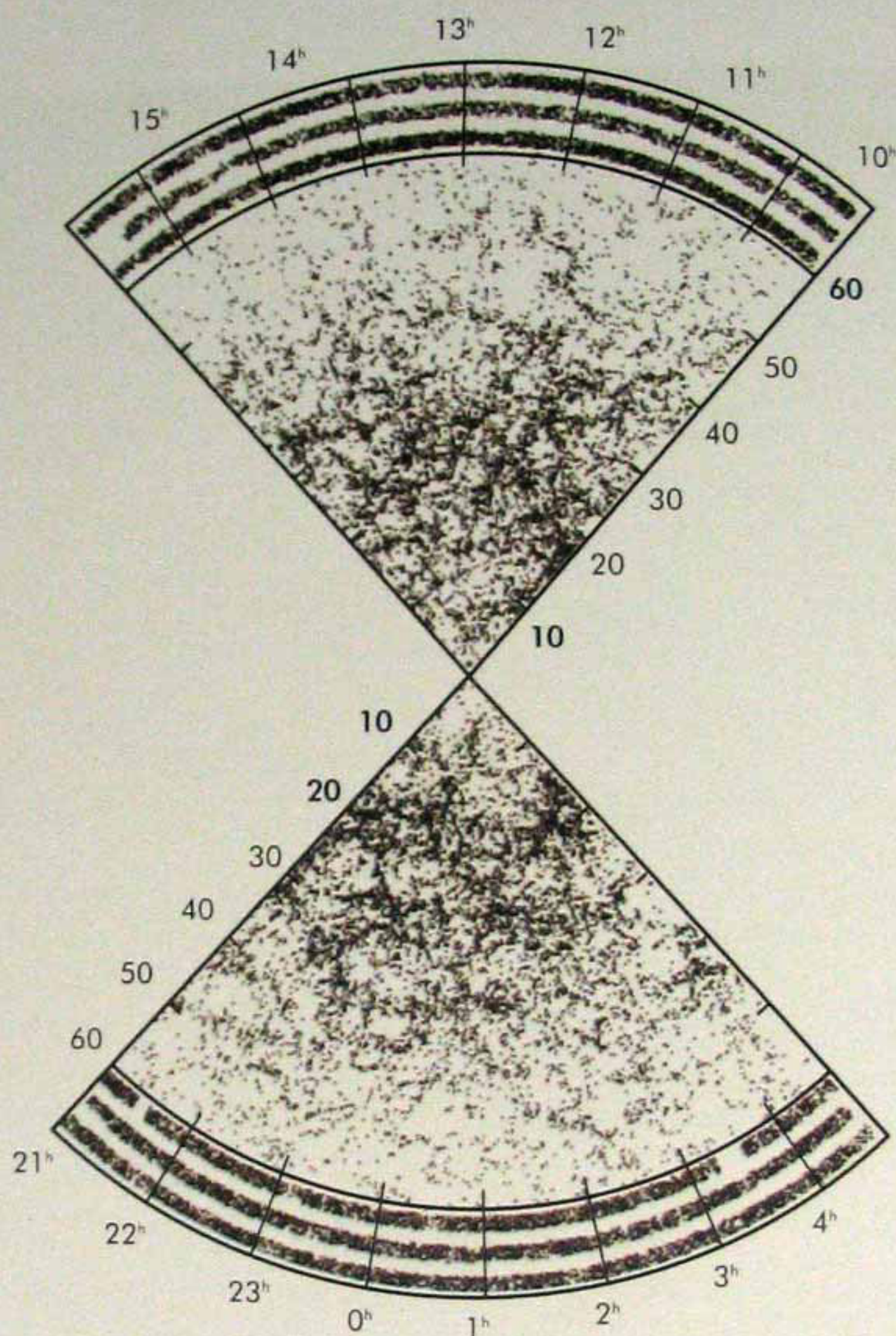
unei stele de pe un braț exterior al galaxiei spirale Calea Lactee. Praful din brațele spiralei ne împiedică să observăm universul în planul galaxiei, dar avem o vizibilitate bună de-o parte și de alta a planului, și putem înregistra pozițiile galaxiilor îndepărtate (Fig. 3.2). Constatăm că galaxiile sînt distribuite destul de uniform în spațiu, cu unele concentrări și goluri locale, iar densitatea lor se anulează la distanțe foarte mari — poate însă că depărtarea și slaba lor strălucire ne împiedică să le observăm. Universul pare să se întindă nemăsurat în spațiu (vezi pag. 72, Fig. 3.3).

Cu toate că universul pare aproximativ la fel pretutindeni în spațiu, cu siguranță se schimbă în timp. Acest fapt a fost înțeles abia la începutul secolului XX. Pînă atunci se considera că universul e în esență constant în timp. El ar fi putut exista de un timp infinit, dar aceasta părea să ducă la concluzii absurde. Dacă stelele ar fi radiat de un timp infinit, ele ar fi în-

(Fig. 3.2)

Planeta noastră Pămînt (**P**) se rotește pe orbită în jurul Soarelui într-o regiune periferică a galaxiei Calea Lactee. Praful stelar din brațele spiralei obturează vederea în planul galaxiei, dar avem o vizibilitate bună de-o parte și de alta a planului.





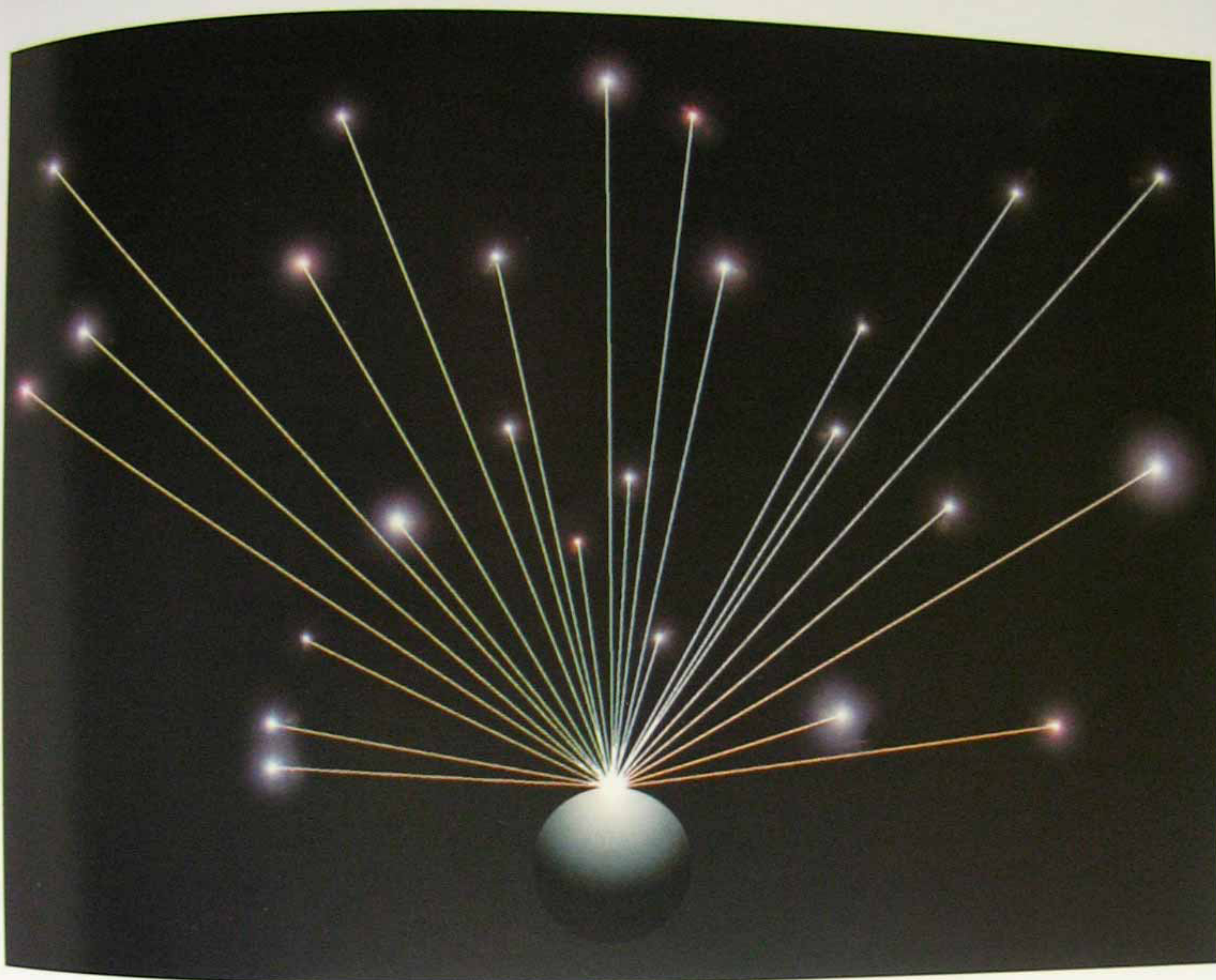
(Fig. 3.3)

Cu excepția unor concentrări locale, galaxiile sînt distribuite aproape uniform în spațiu.

călzit universul pînă la temperatura lor. Chiar și noaptea, întreg cerul ar străluci ca Soarele — în orice direcție am privi, am întîlni fie o stea, fie un nor de praf care ar fi devenit, prin încălzire, la fel de fierbinte ca stelele (Fig. 3.4).

Faptul, observat de noi toți, că noaptea cerul e întunecat, e foarte important. De aici rezultă că universul nu poate să fi existat dintotdeauna în starea actuală. Trebuie să se fi petrecut ceva care să fi aprins stelele cu un timp finit în urmă, astfel încît lumina de la stelele foarte îndepărtate nu a avut încă timp să ajungă la noi. Aceasta ar putea explica de ce noaptea cerul nu strălucește în toate direcțiile.





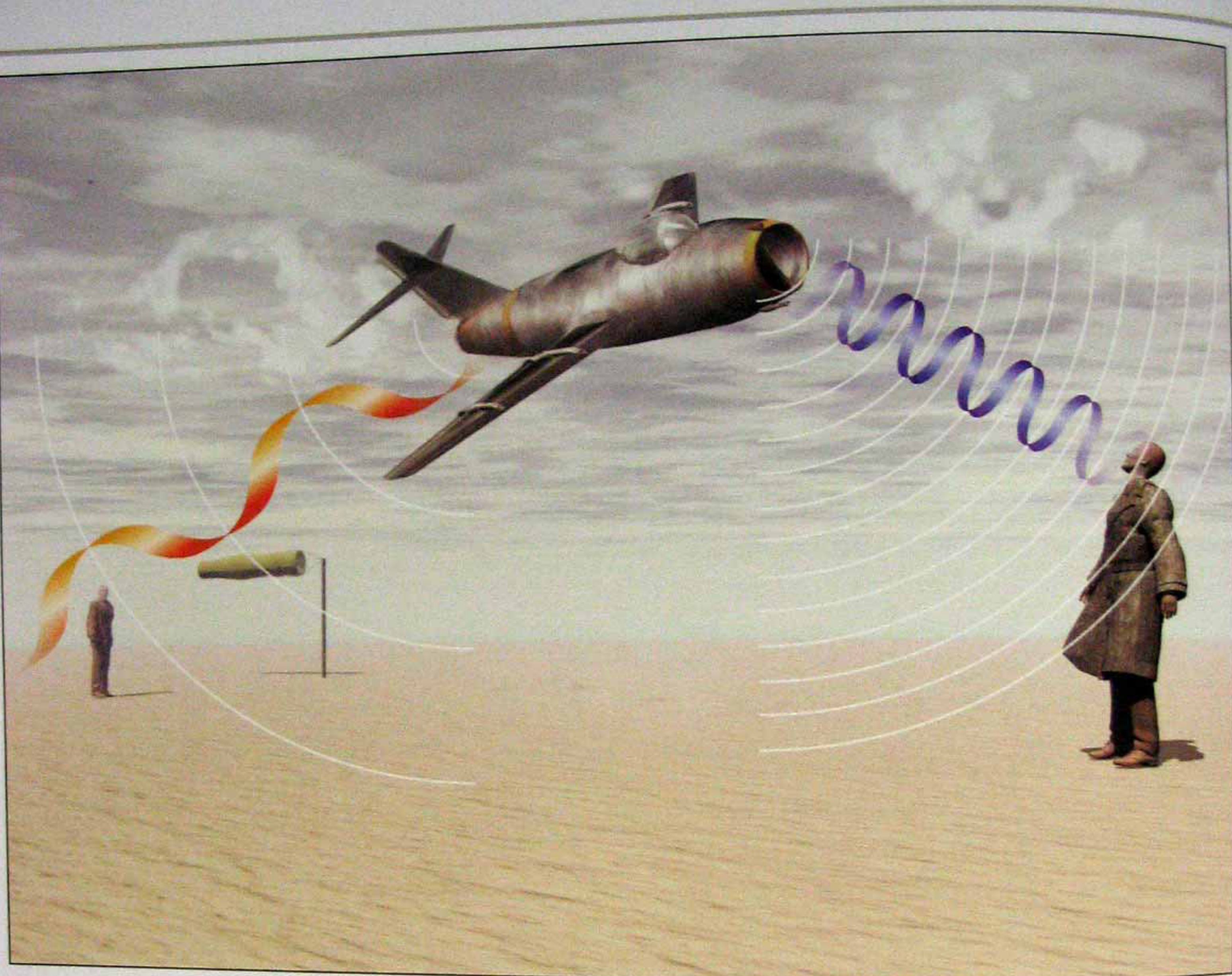
Dacă stelele se aflau acolo dintotdeauna, de ce oare s-au aprins brusc acum câteva miliarde de ani? Care a fost ceasul care le-a spus că a venit timpul să strălucească? Așa cum am văzut, aceasta i-a deconcertat pe acei filozofi care, precum Immanuel Kant, credeau că universul a existat dintotdeauna. Pentru cei mai mulți oameni însă, observația era conformă cu ideea că universul a fost creat, într-o formă asemănătoare celei actuale, cu numai câteva mii de ani în urmă.

Au apărut însă dezacorduri o dată cu observațiile făcute de Vesto Slipher și Edwin Hubble în al doilea deceniu al secolului XX. În 1923 Hubble a descoperit că multe pete slabe de lu-

(Fig. 3.4)

Dacă universul ar fi static și infinit în toate direcțiile, în orice direcție în care am privi am întâlni o stea, ceea ce ar face ca, noaptea, cerul să fie la fel de strălucitor ca Soarele.





## EFFECTUL DOPPLER

Relația dintre viteză și lungimea de undă, numită efectul Doppler, ține de experiența noastră de zi cu zi.

Auziți un avion care vă trece pe deasupra capului; în timp ce se apropie, motoarele lui par să scoată un sunet mai înalt, iar atunci când trece mai departe și dispăre, sunetul devine mai grav.

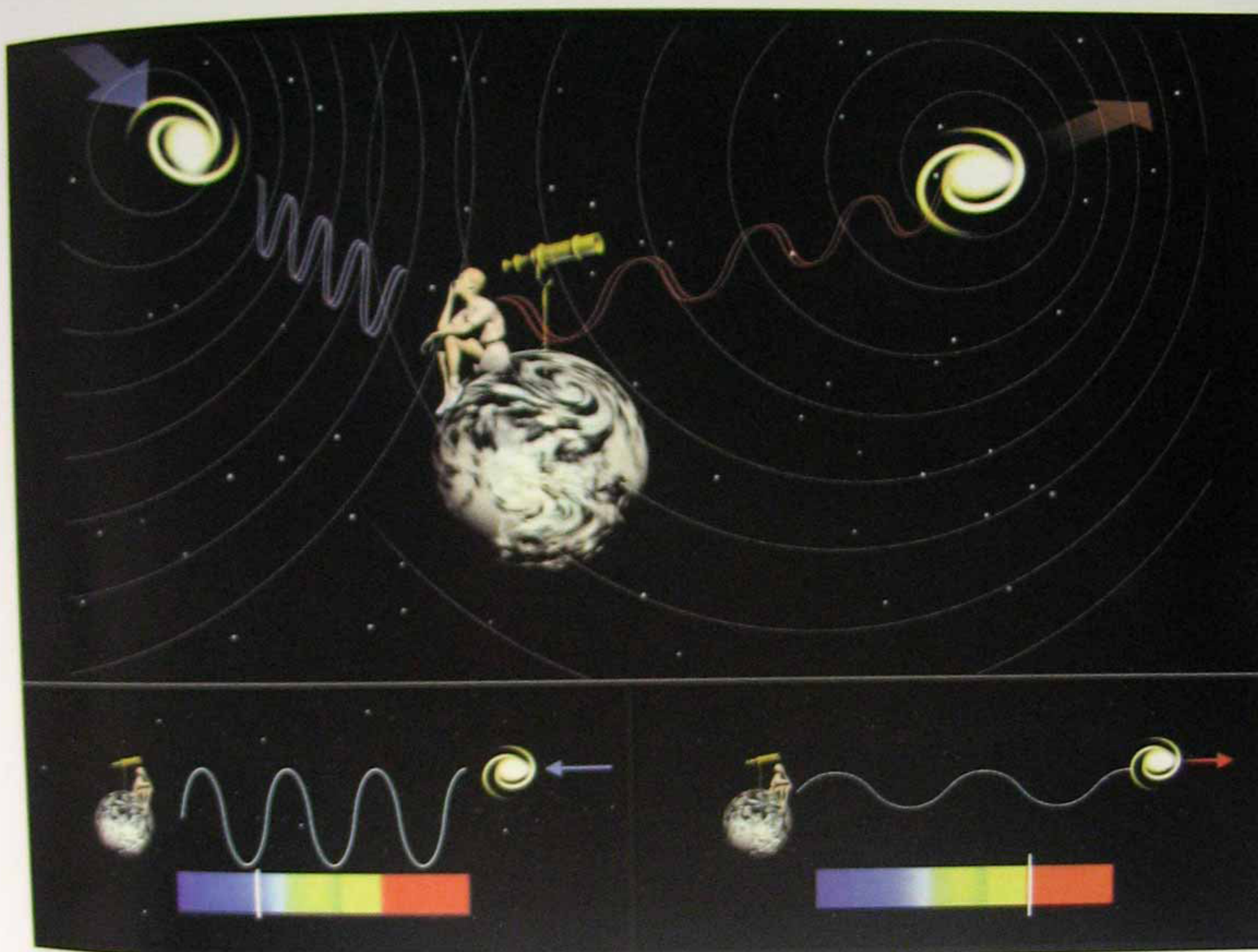
Sunetele înalte corespund unor unde acustice cu o lungime de undă (distanța dintre două creste

successive ale a undei) mai mică și o frecvență (numărul de unde pe secundă) mai mare.

Aceasta deoarece, pe măsură ce avionul vine spre dumneavoastră, va fi mai aproape atunci când va emite o nouă undă acustică, micșorând distanța dintre crestele undelor.

Similar, atunci când avionul se îndepărtează, lungimea de undă crește, iar sunetul pe care-l auziți va fi mai jos.





mină, numite nebuloase, sînt de fapt alte galaxii, vaste aglomerări de stele ca soarele nostru, aflate însă la distanțe mari. Ca să pară atît de mici și stinse, distanțele trebuie să fie atît de mari încît lumina de la ele să străbată milioane sau chiar miliarde de ani pînă să ajungă la noi. Prin urmare, începutul universului n-ar fi putut avea loc cu doar cîteva mii de ani în urmă.

Dar al doilea lucru pe care l-a descoperit Hubble a fost încă și mai remarcabil. Analizînd lumina de la alte galaxii, astronomii au înțeles că e posibil să stabilească dacă acestea se apropie sau se depărtează de noi (Fig. 3.5). Spre marea lor surpriză, ei au descoperit că aproape toate galaxiile se depărtează. Mai mult, cu cît se află mai departe de noi, cu atît se depărtează mai repede. Hubble a fost cel care a înțeles consecințele dramatice ale acestei descoperiri: la scară mare, fiecare gala-

(Fig. 3.5)

Efectul Doppler e valabil și în cazul undelor luminoase. Dacă o galaxie ar rămîne la o distanță fixă față de Pămînt, liniile caracteristice ale spectrului ar trebui să apară în pozițiile normale sau standard. Dacă o galaxie se depărtează de noi, undele vor apărea alungite sau întinse, iar liniile caracteristice ale spectrului vor fi deplasate spre roșu (*dreapta*). Dacă galaxia se apropie de noi, atunci undele vor părea a fi comprimate, iar liniile spectrului vor fi deplasate spre albastru (*stînga*).



*Vecina noastră galactică,  
Andromeda, cercetată de  
Hubble și Slipher*

CRONOLOGIA DESCOPERIRILOR  
FĂCUTE DE SLIPHER ȘI HUBBLE  
ÎNTRE 1910 ȘI 1930.

1912 — Slipher a analizat lumina de la patru nebuloase, găsind că la trei dintre ele liniile spectrale sînt deplasate spre roșu, dar că Andromeda are liniile deplasate spre albastru. Interpretarea sa a fost că Andromeda se mișcă spre noi, în timp ce celelalte trei nebuloase se depărtează.

1912–1914 — Slipher a măsurat încă 12 nebuloase. Cu o singură excepție, toate se deplasau spre roșu.

1914 — Slipher a prezentat descoperirile sale la Societatea Americană de Astronomie. Hubble a urmărit prezentarea.

1918 — Hubble a început să cerceteze nebuloasele.

1923 — Hubble a stabilit că nebuloasele spirale (inclusiv Andromeda) sînt alte galaxii.

1914–1925 — Slipher și alții au continuat să măsoare deplasările Doppler. Scorul a fost, în 1925, de 43 de galaxii cu deplasare spre roșu la 2 cu deplasare spre albastru.

1929 — După ce au continuat să măsoare deplasările Doppler și au găsit că, la scară mare, fiecare galaxie pare să se depărteze de toate celelalte, Hubble și Milton Humason au anunțat descoperirea lor că universul e în expansiune.



xie se depărtează de toate celelalte. Universul este în expansiune (Fig. 3.6).

Descoperirea expansiunii universului a fost una dintre cele mai mari revoluții intelectuale ale secolului XX. A fost o surpriză totală și a schimbat radical dezbaterile privind originile universului. Dacă galaxiile se îndepărtează, ele trebuie să fi fost foarte apropiate cîndva în trecut. Din viteza actuală de expansiune putem estima că ele trebuie să se fi aflat cu ade-vărat foarte aproape acum zece–cincisprezece miliarde de ani. După cum explic în ultimul capitol, Roger Penrose și cu mine am putut stabili că din teoria generală a relativității a lui Einstein rezultă că universul și timpul însuși trebuie să fi avut un început într-o extraordinară explozie. Aceasta e explicația pen-





Edwin Hubble și telescopul de 100 țoli  
de pe Mount Wilson în 1930

(Fig. 3.6) LEGEA LUI HUBBLE

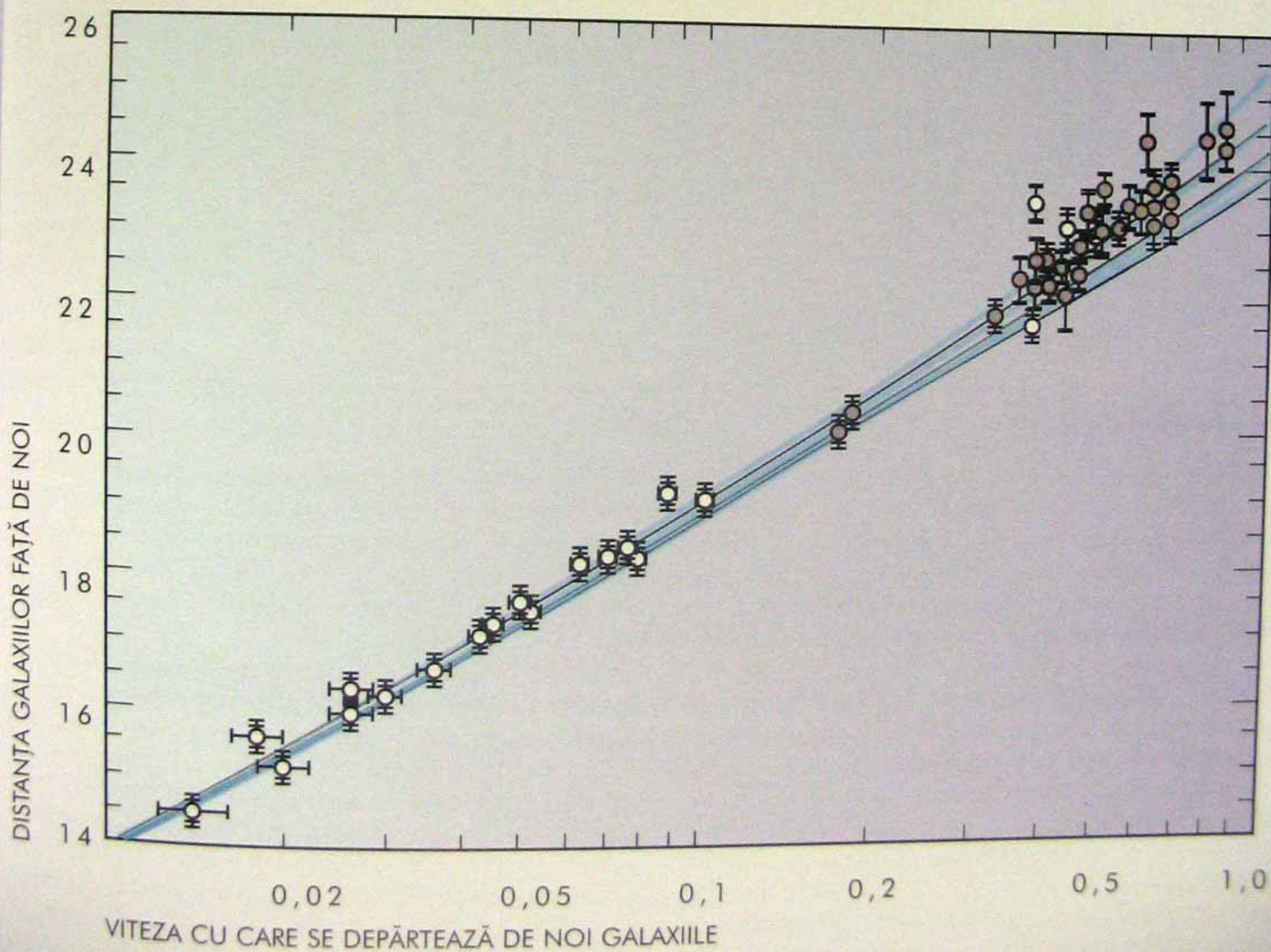
Analizând lumina de la alte galaxii, Edwin Hubble a descoperit în anii 1920 că aproape toate galaxiile se depărtează de noi cu o viteză  $V$  proporțională cu distanța lor  $R$  față de Pământ, astfel că  $V = H \times R$ .

Această observație importantă, cunoscută drept legea lui Hubble, a stabilit că universul e în expansiune, con-

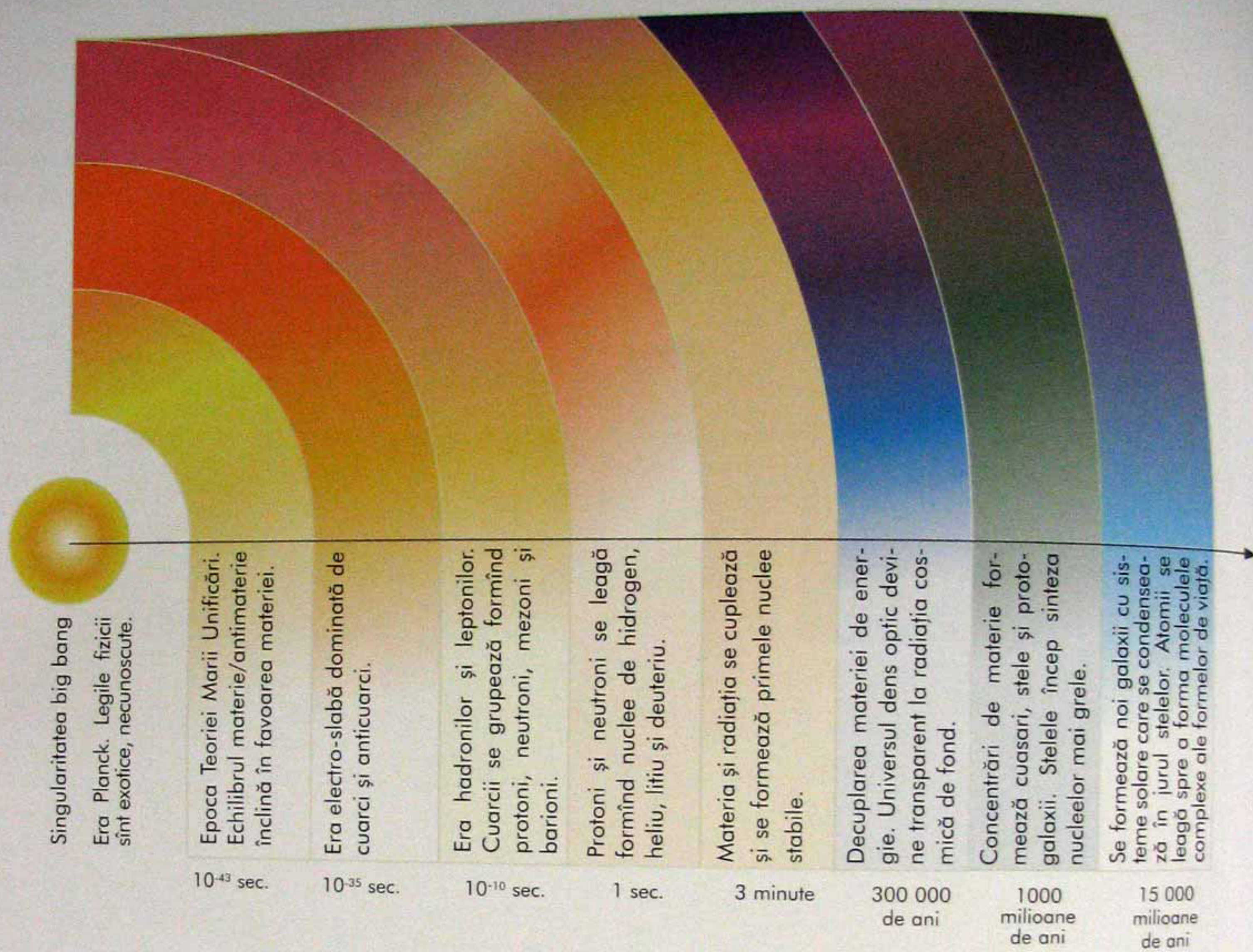
stanta lui Hubble  $H$  determinând viteza de expansiune.

Graficul de mai jos prezintă observațiile recente privind deplasarea spre roșu a galaxiilor, confirmând legea lui Hubble la mari distanțe.

Ușoara curbură din dreapta sus indică o creștere a vitezei de expansiune la distanțe mari, care s-ar putea datora energiei vidului.







## MAREA EXPLOZIE FIERBINTE

Dacă teoria generală a relativității e corectă, atunci universul a început cu o temperatură și o densitate infinite la singularitatea mării explozii (big bang). Pe măsură ce universul se extinde, temperatura și radiația scad. La aproape o sutime de secundă după marea explozie, temperatura ar fi fost cam 100 miliarde de grade, iar universul ar fi conținut în principal fotoni, electroni și neutrini (particule extrem de ușoare), precum și antiparticulele lor, împreună cu câțiva protoni și neutroni. În următoarele trei minute, în timp ce universul s-a răcit cam cu un miliard de grade, protonii și neutronii au început să se combine spre a forma nuclee de heliu, hidrogen și alte elemente ușoare.

Sute de mii de ani mai târziu, când temperatura a ajuns la câteva mii de grade, electronii au fost înce-

tinuți într-atît încît nucleele ușoare i-au putut capta spre a forma atomi. Prin urmare, elementele mai grele, cele din care sîntem formați, precum carbonul și oxigenul, n-au putut apărea decît după un miliard de ani de ardere a heliului în centrul stelelor.

Această imagine a unei epoci timpurii dense și fierbinți a universului a fost prezentată pentru prima dată de cercetătorul George Gamow în 1948, într-o lucrare scrisă împreună cu Ralph Alpher, în care s-a făcut predicția remarcabilă că radiația din această epocă timpurie foarte fierbinte a universului trebuie să existe încă în jurul nostru. Predicția lor a fost confirmată în 1965, cînd fizicienii Arno Penzias și Robert Wilson au observat radiația cosmică de fond de microunde.





tru care noaptea cerul e întunecat: nici o stea n-a putut străluci mai mult de zece-cincisprezece miliarde de ani, timpul scurs de la marea explozie.

Ne-am obișnuit cu ideea că evenimentele sînt provocate de alte evenimente anterioare, la rîndul lor provocate de altele și mai vechi. E un lanț al cauzalității ce se întinde în urmă în timp. Să presupunem că a existat un prim eveniment. Care a fost cauza *lui*? Întrebarea nu prea le place oamenilor de știință. Ei încearcă s-o evite, fie pretinzînd, ca rușii, că universul nu are un început, fie susținînd că originea universului nu ține de domeniul științei, ci de cel al metafizicii sau religiei. Cred că nu e o reacție demnă de un om de știință. Dacă legile științei sînt suspendate la începutul universului, de ce nu ar eșua ele și la un alt moment? O lege nu e lege dacă e valabilă doar din cînd în cînd. *Trebuie să încercăm să înțelegem începutul universului pe baza științei. Ar putea fi o sarcină peste puterile noastre, dar trebuie măcar să încercăm.*

Deși teoremele pe care Penrose și cu mine le-am demonstrat arată că universul trebuie să aibă un început, ele nu dau prea multe informații despre natura acestui început. Ele arată că universul a început printr-o mare explozie, întreg universul, și tot ce se afla în el, fiind condensat într-un singur punct de densitate infinită. La acest punct, teoria generală a relativității a lui Einstein n-ar mai fi valabilă, astfel încît nu mai poate fi folosită pentru a prezice cum a început universul. S-ar părea că originea universului rămîne în afara domeniului științei.

Nu e o concluzie care să-l mulțumească pe un om de știință. Așa cum am arătat în capitolele 1 și 2, motivul pentru care teoria generală a relativității nu mai e valabilă în apropierea mării explozii e că această teorie nu încorporează principiul de incertitudine, elementul aleator al teoriei cuantice, pe care Einstein l-a respins spunînd că Dumnezeu nu joacă zaruri. Dar toate dovezile arată că Dumnezeu chiar este un jucător. Ne putem închipui că universul e un cazino uriaș, cu zaruri ce se rostogolesc sau rulete care se învîrt cu fiecă prilej (Fig. 3.7).





Puteți crede că a conduce un cazino e o treabă tare riscantă, fiindcă ați putea pierde banii la orice rostogolire a zarurilor sau învîrtire a ruletei. Dar după un număr mare de pariuri, pierderile și câștigurile se mediază și se obține un rezultat care *poate* fi prezis, chiar dacă rezultatul fiecărui pariu în parte nu poate fi prezis (Fig. 3.8). Patronii de cazinouri au grijă ca rezultatele să fie în favoarea lor, de asta sînt așa de bogați. Singura șansă de a câștiga împotriva lor e să vă riscați toți banii pe cîteva rostogoliri ale zarurilor sau învîrtiri ale ruletei.

La fel stau lucrurile și în univers. Dacă universul e mare, cum e azi, există un număr mare de rostogoliri de zaruri, iar rezultatul poate fi prezis. De aceea legile clasice sînt valabile pentru sisteme mari. Dacă universul e însă foarte mic, cum a fost aproape de momentul mării explozii, există doar un mic număr de rostogoliri ale zarurilor, iar principiul de incertitudine devine foarte important.

Deoarece universul continuă să arunce zarul pentru a vedea ce urmează, el n-are doar o singură istorie, așa cum ne-am fi așteptat. Dimpotrivă, universul are orice istorie posibilă, fiecare cu probabilitatea ei. Trebuie să existe o istorie a universului în care Insulele Belize să fi câștigat toate medaliile de aur la Jocurile Olimpice, numai că probabilitatea e cam mică.

Ideea că universul are istorii multiple poate părea științifico-fantastică, dar acum e acceptată ca fapt științific. Ea a fost formulată de Richard Feynman, un mare fizician și o mare personalitate.

În prezent lucrăm la combinarea teoriei generale a relativității a lui Einstein cu ideile lui Feynman despre istoriile multiple într-o teorie unificată completă care să descrie tot ce se întîmplă în univers. Această teorie unificată va face posibil să calculăm cum se va dezvolta universul, dacă știm cum au început istoriile. Teoria unificată nu ne va putea spune cum a început universul sau care i-a fost starea inițială. Pentru aceasta am avea nevoie de ceea ce numim condiții la limită, reguli care să ne spună ce se întîmplă la frontierele universului, la marginile spațiului și timpului.

Dacă frontiera universului ar fi doar un punct normal din spațiu și timp, am putea trece mai departe și revendica teritoriul de dincolo de el ca parte a universului. Dar, dacă granița universului e pe o margine ascuțită, unde spațiul și timpul

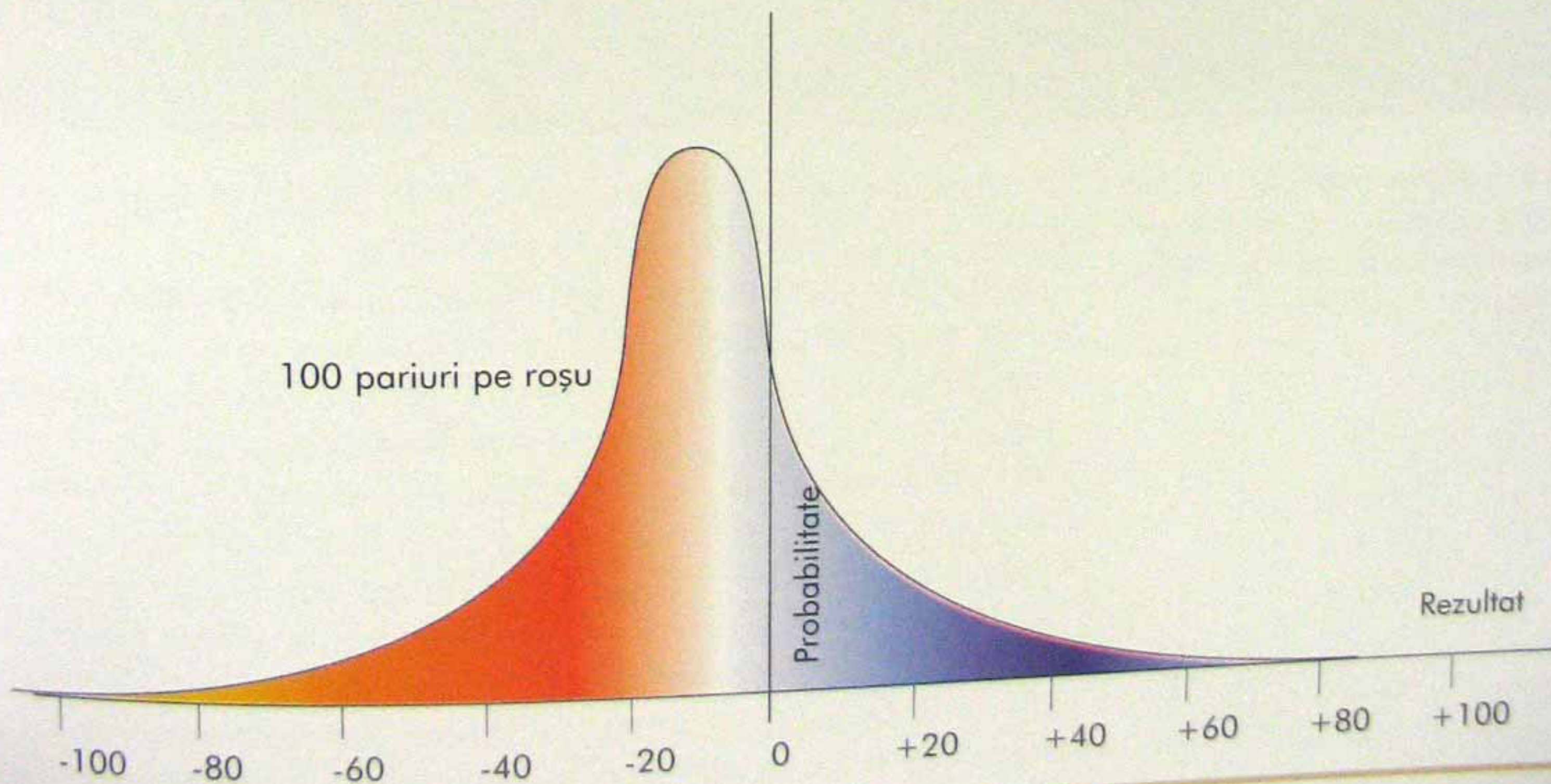
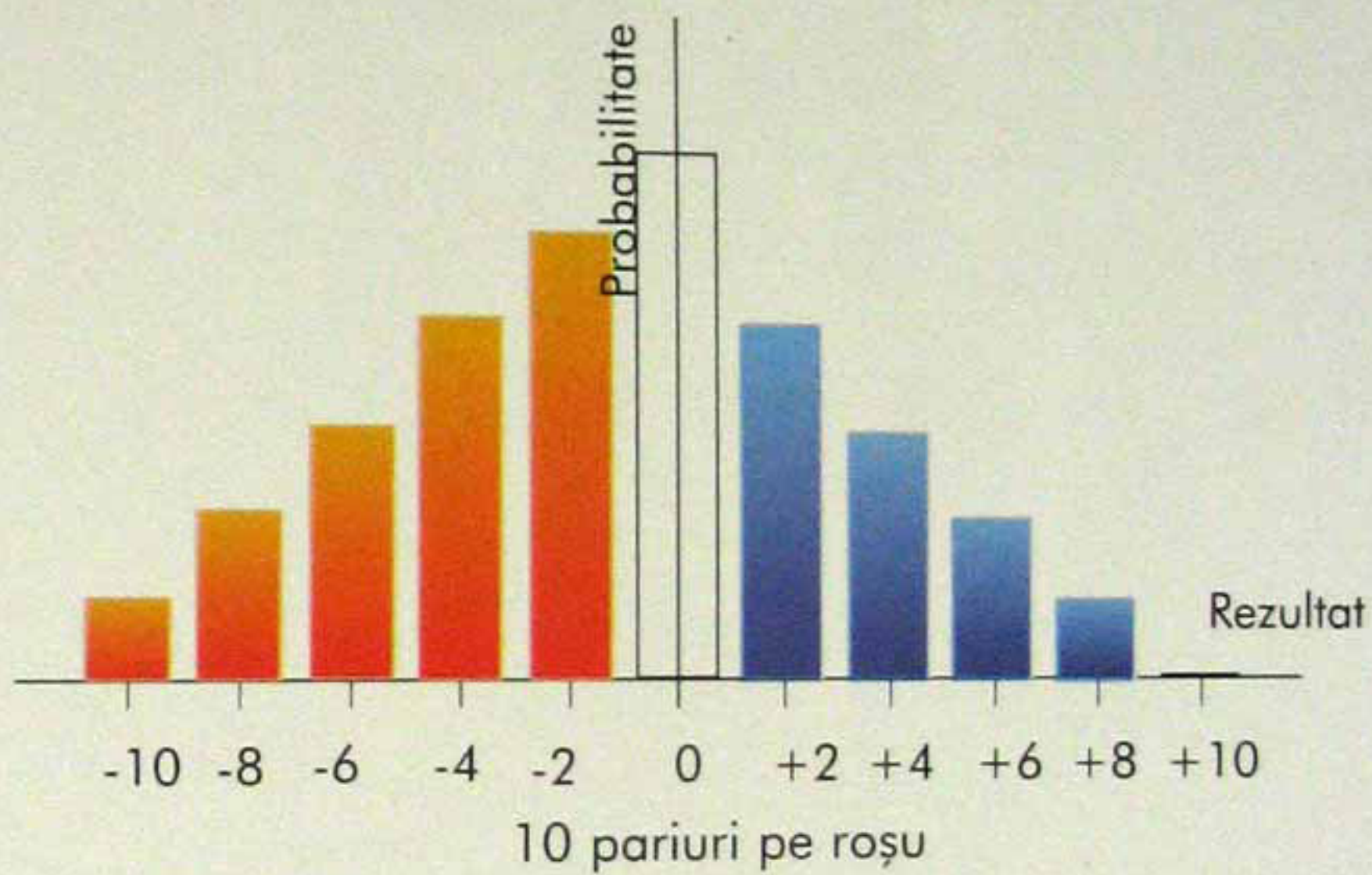
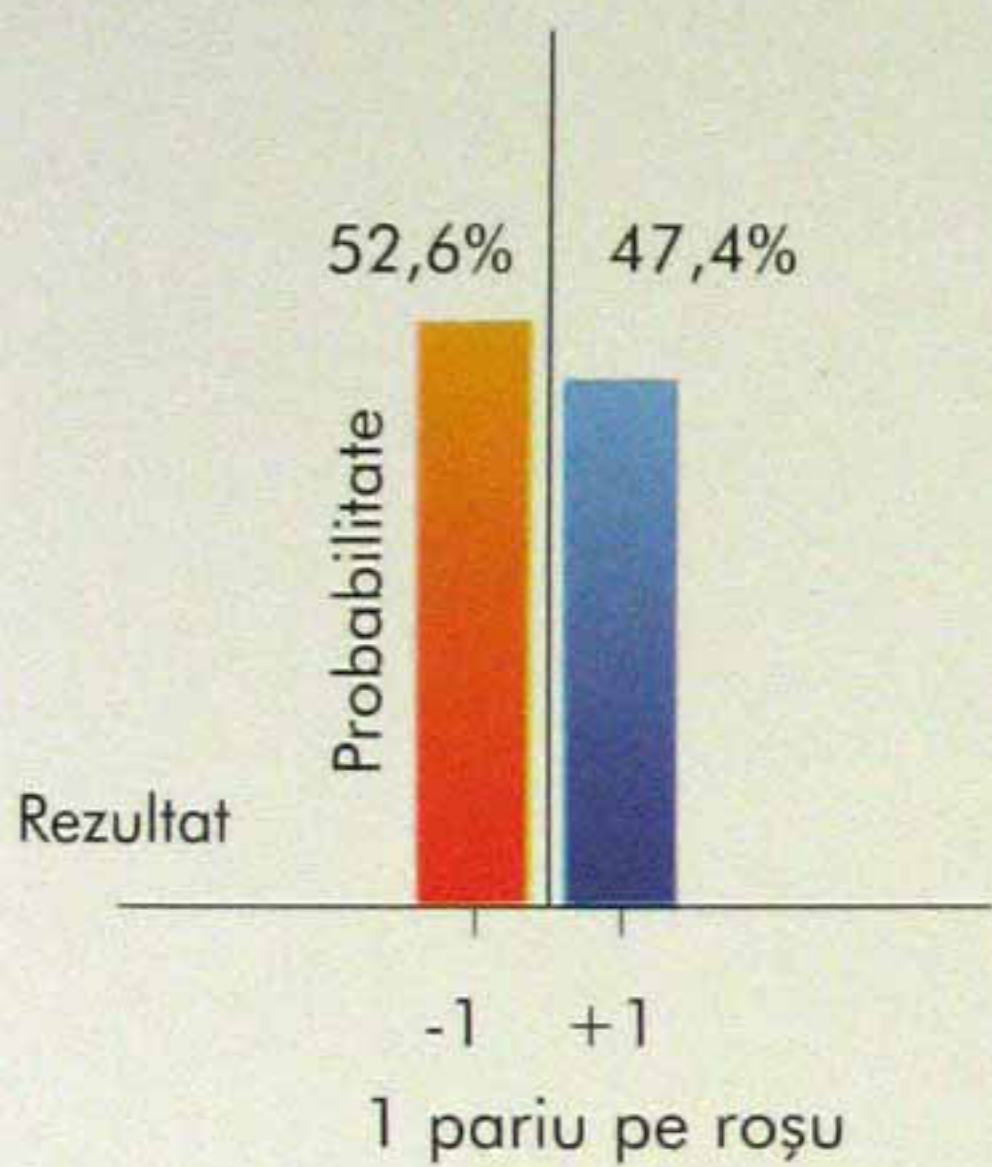


(Fig. 3.7 mai sus și Fig. 3.8, pag. 81.)

Dacă un jucător pariază pe roșu la un număr mare de jocuri de ruletă, se poate prezice destul de bine câștigul, deoarece rezultatele individuale se mediază.

Pe de altă parte, este imposibil de prezis rezultatul fiecărui pariu în parte.









Dacă granița universului ar fi un simplu punct în spațiu-timp am putea continua să extindem frontierele.

sînt condensate iar densitatea infinită, ar fi foarte greu de definit condiții la limită care să aibă sens.

Un coleg pe nume Jim Hartle și cu mine am înțeles însă că există o a treia posibilitate. Poate că nu universul nu are frontiere în spațiu și timp. La prima vedere aceasta ar părea în contradicție directă cu ceea ce Penrose și cu mine am demonstrat cînd arătam că universul trebuie să fi avut un început, o frontieră în timp. Dar, așa cum am explicat în capitolul 2, e vorba de un alt fel de timp, numit timp imaginar, reprezentat pe o axă perpendiculară pe cea a timpului real pe care-l simțim scurgîndu-se. Istoria universului în timp real determină istoria sa în timp imaginar și invers, dar cele două tipuri de istorii pot fi foarte diferite. În particular, universul nu trebuie



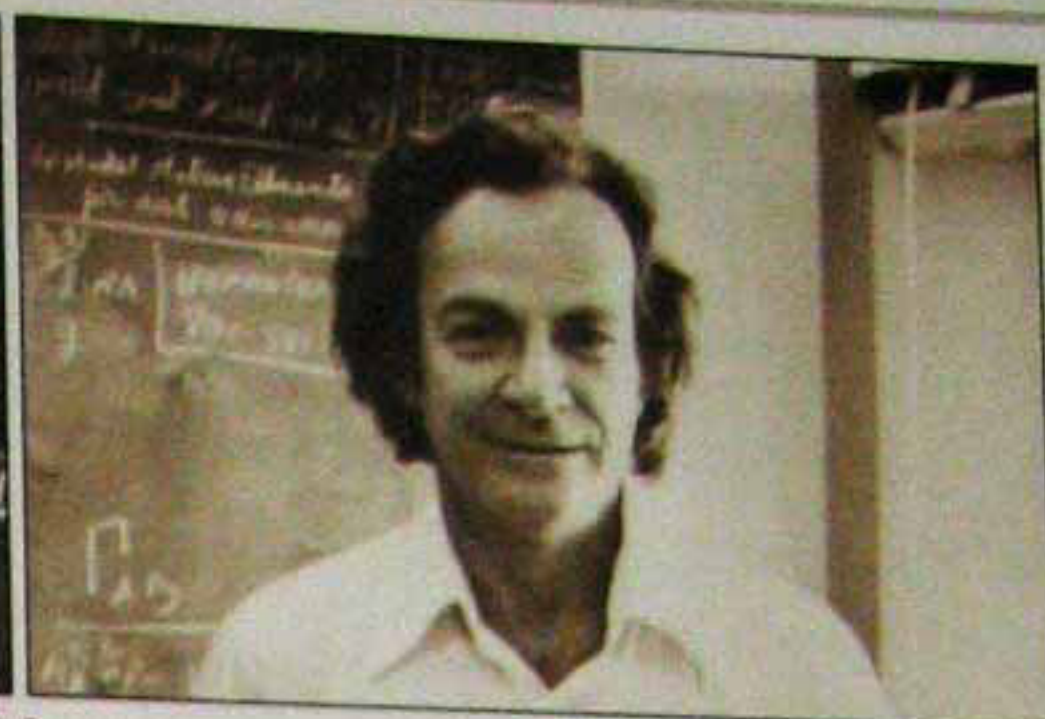
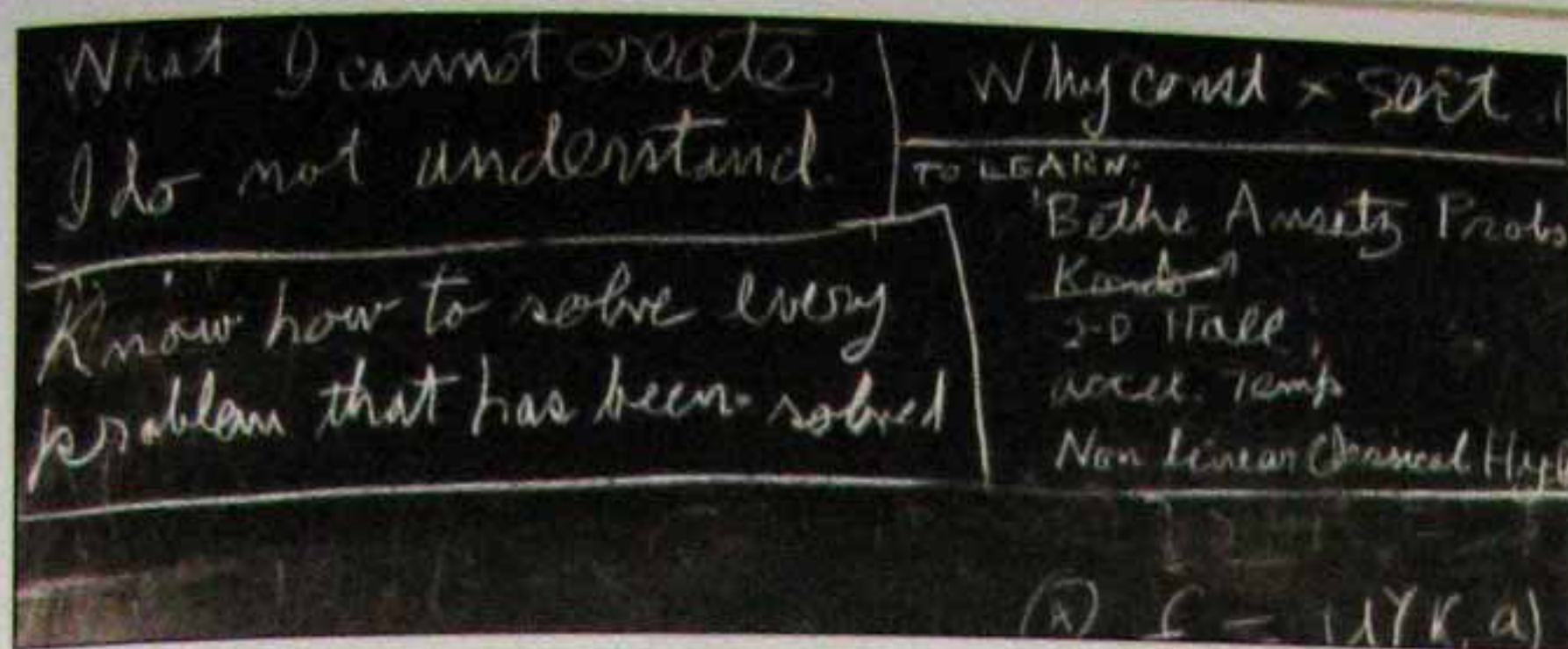


Tabla de la Caltech în momentul morții lui Feynman, în 1988.

Richard Feynman

## DESPRE FEYNMAN

Născut în Brooklyn, New York, în 1918, Richard Feynman și-a susținut doctoratul sub îndrumarea lui John Wheeler la Universitatea Princeton în 1942. La scurt timp, a fost cooptat în proiectul Manhattan. Acolo s-a făcut remarcat atât pentru personalitatea exuberantă și farsele sale — la laboratoarele din Los Alamos se amuza spărgînd seifurile cu informații secrete —, cît și pentru că era un fizician excepțional: a avut o contribuție-cheie la teoria bombei atomice. Permanentă curiozitate față de lumea înconjurătoare — esența însăși a ființei lui Feynman — a constituit nu numai motorul succesului său științific, ci l-a condus și către alte realizări uimitoare, cum ar fi descifrarea hieroglifei maya.

În anii de după cel de al doilea război mondial, Feynman a găsit o nouă și foarte rodnică abordare a mecanicii cuantice, realizare pentru care a primit Premiul Nobel în 1965. El a contestat presupunerea clasică fundamentală potrivit căreia

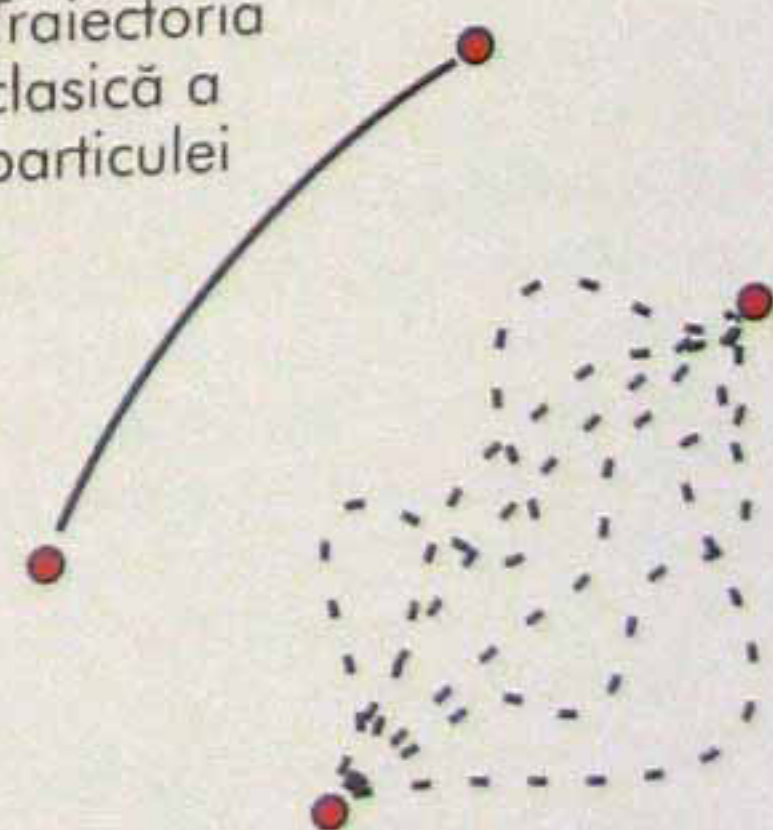
orice particulă are o singură istorie. A sugerat că particulele se deplasează dintr-un loc în altul de-a lungul tuturor traiectoriilor posibile în spațiu-timp. Feynman a asociat fiecărei traiectorii două numere, unul pentru mărimea — amplitudinea — unde și altul pentru faza ei — dacă e vorba de o creață sau o adîncitură. Probabilitatea ca o particulă să se deplaseze din punctul A în punctul B se obține adunînd undele asociate tuturor drumurilor posibile între A și B.

În viața de zi cu zi însă, pare că obiectele urmează o singură traiectorie între locul de origine și destinația finală. Faptul e în acord cu ideea istoriilor multiple (suma istoriilor) a lui Feynman, fiindcă pentru obiectele mari regula sa de a asocia numere fiecărei traiectorii face ca toate traiectoriile cu excepția uneia să se anuleze cînd se combină contribuțiile lor. Dacă e vorba de obiecte macroscopice, numai unul din infinitatea de drumuri contează, iar traiectoria obiectului e întocmai cea prezisă de legile mișcării clasice ale lui Newton.

să aibă un început sau un sfîrșit în timpul imaginar. Timpul imaginar se comportă la fel ca o altă direcție în spațiu. Astfel, istoriile universului în timp imaginar pot fi concepute ca suprafețe curbate, ca o minge, un plan sau ca o formă de șa, dar cu patru dimensiuni în loc de două (vezi Fig. 3.9, pag. 84).

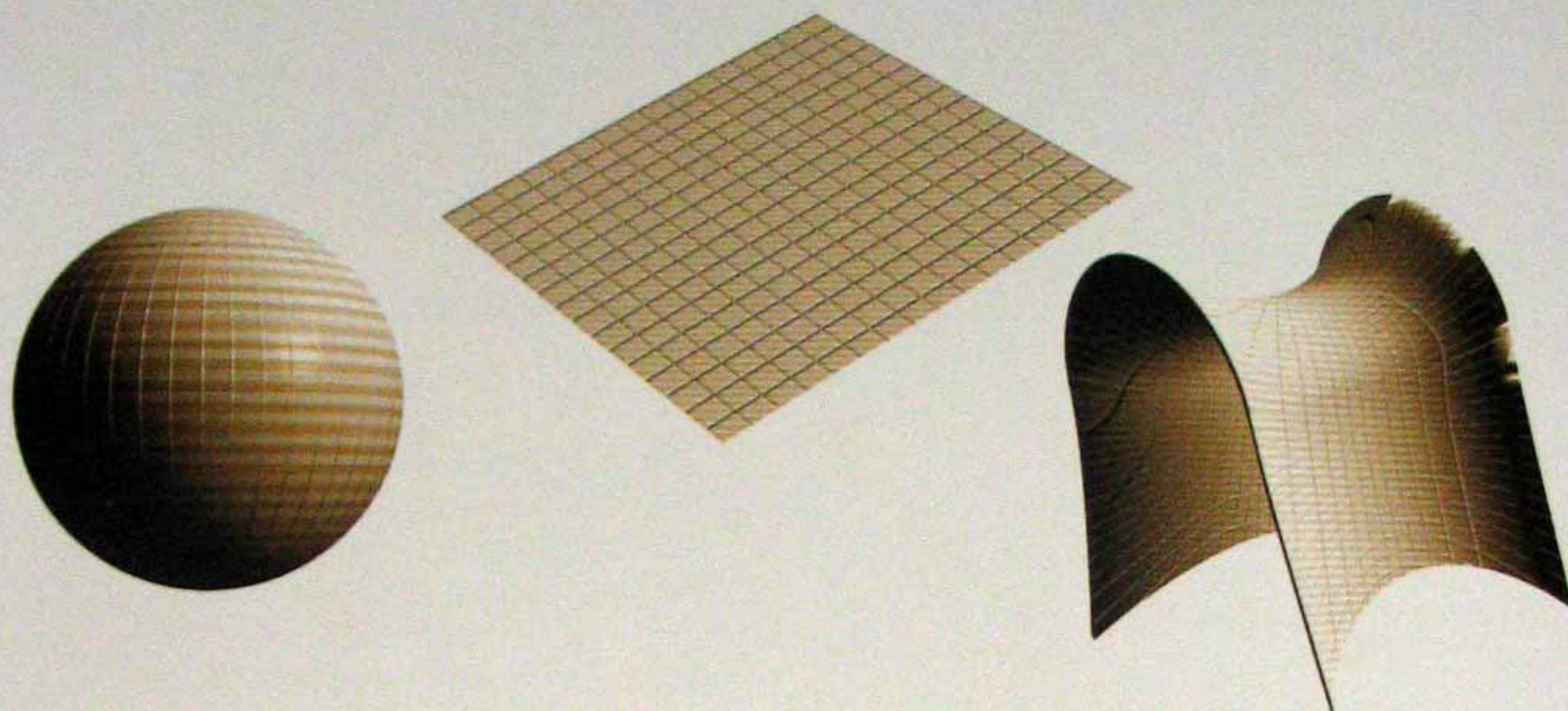
Dacă, mergînd spre infinit, istoriile universului ar arăta ca o șa sau ca un plan, atunci ar fi greu să precizăm condițiile la limită de la infinit. Am putea totuși evita precizarea condițiilor la limită dacă istoriile universului în timp imaginar ar fi suprafețe închise, cum e suprafața Pămîntului. Suprafața Pămîntului nu are frontiere sau margini. Nu există vreo mărturie credibilă că ar fi căzut cineva de pe ea.

Traectoria  
clasică a  
particulei



În integrala lui Feynman peste drumuri, o particulă urmează orice drum posibil.





(Fig. 3.9) ISTORIILE UNIVERSULUI

Dacă, la infinit, istoriile universului ar arăta ca o șa, ar fi greu să precizăm condițiile la limită de la infinit. Dacă toate istoriile universului în timp imaginar sînt suprafețe închise, cum e suprafața Pămîntului, nu mai trebuie să precizăm condițiile la limită.

### LEGILE EVOLUȚIEI ȘI CONDIȚIILE INIȚIALE

Legile fizicii descriu evoluția în timp a unei stări inițiale. De exemplu, dacă aruncăm o piatră în aer, legea gravitației va descrie cu precizie mișcarea ulterioară a pietrei.

Nu putem însă prezice locul exact în care va ateriza piatra doar pe baza acestor legi. Mai trebuie să cunoaștem viteza și direcția în care am lansat-o. Cu alte cuvinte, trebuie să cunoaștem condițiile inițiale — condițiile la limită — ale mișcării pietrei.

Cosmologia încearcă să descrie evoluția întregului univers folosind aceste legi ale fizicii. Prin urmare, trebuie să ne întrebăm care sînt condițiile inițiale ale universului căruia îi aplicăm aceste legi.

Starea inițială poate avea un impact profund asupra trăsăturilor fundamentale ale universului, poate chiar și asupra proprietăților particulelor elementare și forțelor care au jucat un rol crucial în dezvoltarea vieții biologice.

O ipoteză propusă este să *nu existe condiții la limită*, adică timpul și spațiul să fie finite, formînd o suprafață închisă fără frontiere, exact așa cum suprafața Pămîntului e finită, dar nu are frontiere. Ipoteza fără condiții la limită se bazează pe ideea istoriilor multiple a lui Feynman, dar istoria unei particule în suma lui Feynman este acum înlocuită cu un spațiu-timp complet reprezentînd istoria întregului univers. Condiția „fără frontiere” este tocmai restricționarea istoriilor posibile ale universului la acele spațiu-timpuri fără frontiere în timp imaginar. Cu alte cuvinte, condiția la frontieră a universului e că nu există frontieră.

Cosmologii cercetează în prezent dacă acele configurații inițiale care devin acceptabile prin ipoteza „fără condiții la limită”, eventual împreună cu principiul antropic, pot evolua spre un univers precum cel pe care-l vedem.



Dacă istoriile universului în timp imaginar sînt într-adevăr suprafețe închise, așa cum am propus Hartle și cu mine, aceasta ar avea consecințe fundamentale asupra filozofiei și asupra imaginii originii noastre. Universul ar fi în întregime auto-conținut; n-ar avea nevoie de nimic din afară care să-i pornească ceasul și să-l facă să meargă. Totul în univers ar fi determinat de legi ale științei și rostogoliri ale zarurilor dinăuntru universului. Poate părea arogant, dar este ceea ce eu și mulți alți oameni de știință credem.

Chiar dacă am lua drept condiție la frontieră a universului pe aceea că nu există frontieră, el tot n-ar avea numai o singură istorie. Va avea istorii multiple, după cum sugerează Feynman. Va exista cîte o istorie în timp imaginar corespunzînd fiecărei suprafețe închise posibile, iar fiecare istorie în timp imaginar va determina o istorie în timp real. Ce face ca universul

particular în care trăim să fie ales din mulțimea tuturor universurilor posibile? Trebuie observat că multe dintre istoriile posibile nu vor trece de etapa formării galaxiilor și stelelor, esențială pentru dezvoltarea noastră. Deși s-ar putea ca ființe inteligente să nu aibă nevoie de galaxii și stele pentru a se dezvolta, pare improbabil. Astfel, chiar faptul că existăm ca ființe care își pun întrebarea „De ce e universul așa cum e?” constituie o restricție pentru istoria în care trăim.

Ea aparține categoriei minoritare a istoriilor care au galaxii și stele. Acesta e un exemplu pentru ceea ce numim principiu antropic. Principiul antropic spune că universul trebuie să fie aproximativ așa cum îl vedem, altminteri n-ar mai fi nimeni aici ca să-l observe (Fig. 3.10). Multor oameni de



Suprafața Pămîntului nu are frontiere sau margini. Se pare că mărturiile despre oameni care să fi căzut de pe Pămînt sînt exagerări.







### PRINCIPIUL ANTROPIC

Pe scurt, principiul antropic ne spune că vedem universul așa cum e, cel puțin în parte, datorită faptului că existăm. E o perspectivă diametral opusă visului de a ajunge la o teorie unificată, care să poată prevedea totul, în care legile naturii sînt complete, iar lumea e așa cum e fiindcă n-ar fi putut fi altminteri. Există un număr de versiuni diferite ale principiului antropic, de la cele atît de slabe încît sînt banale, pînă la cele atît de tari încît devin absurde. Deși majoritatea oamenilor de știință refuză să adopte o versiune tare a principiului antropic, puțini ar avea de obiectat la argumentele principiului antropic slab.

Principiul antropic slab se reduce la o explicație a alegerii erei sau părții de univers în care am putea locui. De exemplu, motivul pentru care marea explozie a avut loc acum zece-cincisprezece miliarde de ani este acela că universul tre-

buie să fie suficient de bătrîn astfel încît unele stele să-și fi încheiat evoluția pentru a produce elemente precum carbonul și oxigenul din care sîntem alcătuiți, și să fie suficient de tînăr astfel încît unele stele să mai producă energie pentru a susține viața.

În cadrul ipotezei „fără frontiere”, putem folosi regulile lui Feynman pentru a contabiliza istoriile universului și a afla ce proprietăți ale universului e probabil să apară. În acest context, principiul antropic e introdus cerînd ca istoriile să conțină viață inteligentă. Desigur, ne-am împăca mai bine cu principiul antropic dacă am putea demonstra că mai multe configurații inițiale diferite e probabil să evolueze astfel încît să producă un univers cum e cel pe care-l vedem. Ar însemna că starea inițială a părții de univers în care locuim n-a trebuit să fie aleasă cu foarte multă grijă.





(Fig. 3.10, pag. 86)

În stînga ilustrației se află acele universuri **(a)** care colapsează în ele însele, devenind închise. În dreapta sînt acele universuri deschise **(b)** care vor continua să se extindă la nesfîrșit.

Acele universuri critice, care se află în situația intermediară între a colapsa în ele însele și a continua să se extindă, precum **(c1)** sau cele cu dublă inflație **(c2)**, ar putea găzdui viață inteligentă. Propriul nostru univers **(d)** e potrivit astfel încît să-și continue expansiunea.



Inflația dublă ar putea găzdui viață inteligentă.



Inflația universului nostru continuă expansiunea.

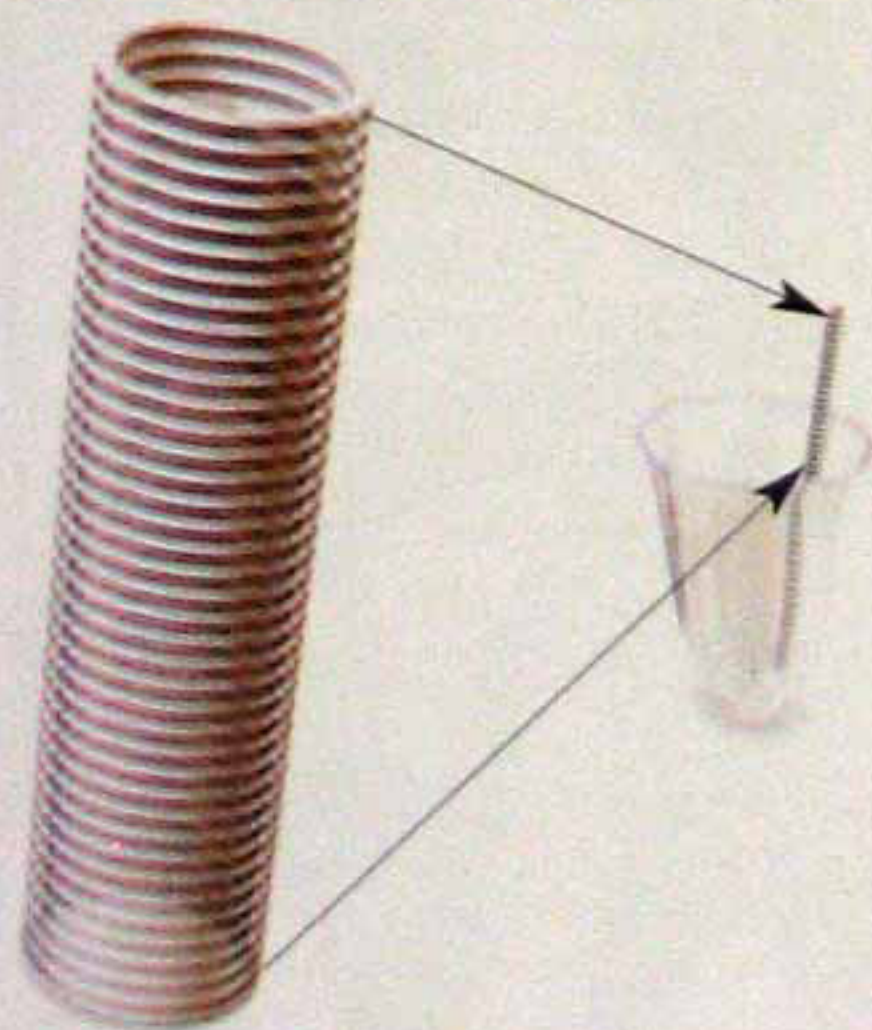
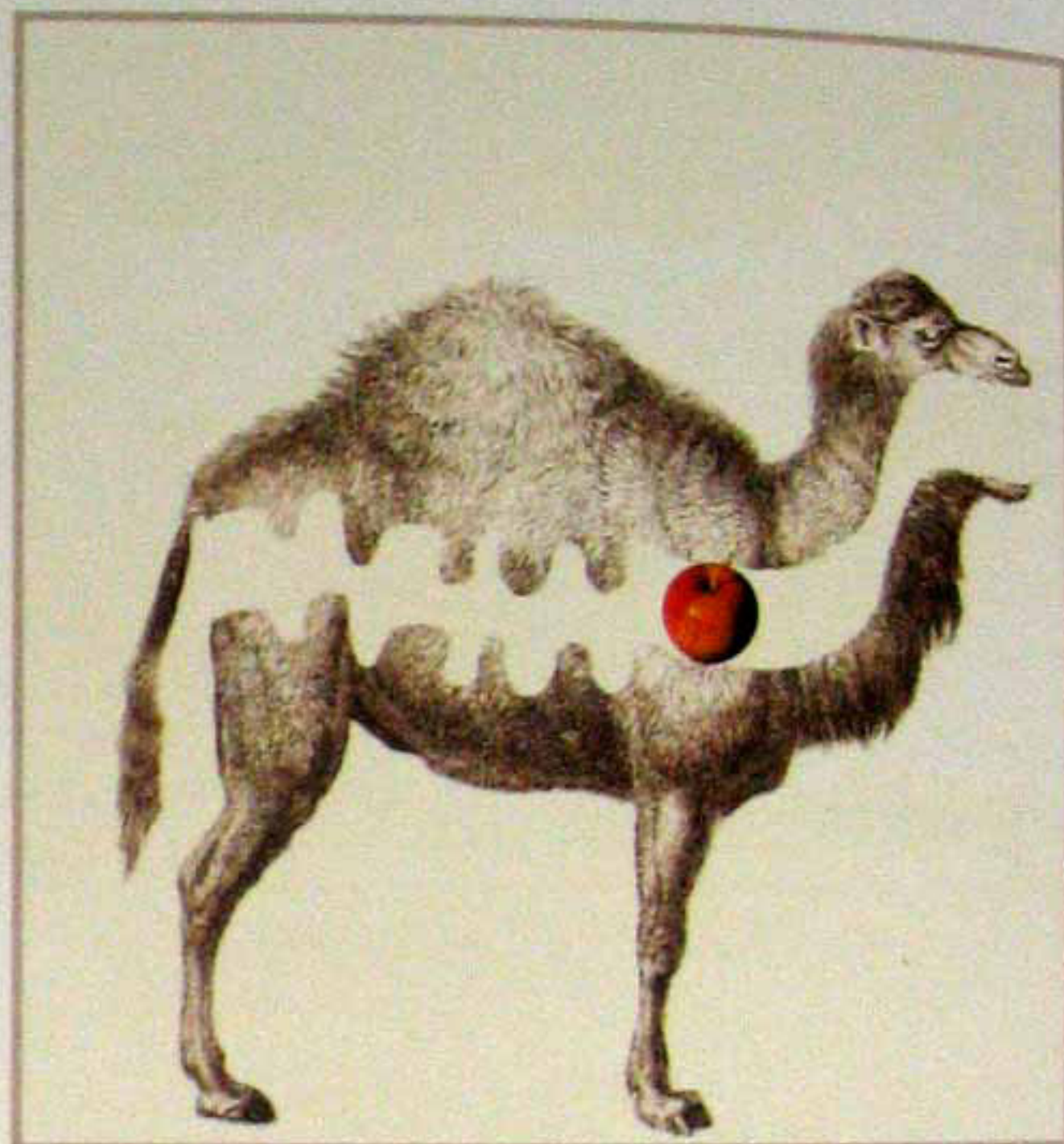
Știința nu le place principiul antropic fiindcă îl consideră vag și fără prea mare putere de predicție. Dar principiului antropic poate să i se dea o formulare precisă și pare esențial cînd e vorba de originea universului. Teoria M, prezentată în capitolul 2, admite un număr mare de istorii posibile ale universului. Majoritatea acestor istorii sînt incompatibile cu dezvoltarea vieții inteligente; universurile sînt fie pustii, fie durează prea puțin, fie sînt prea curbate, fie au vreun alt neajuns. Conform ideii istoriilor multiple a lui Richard Feynman, aceste istorii nelocuite pot avea probabilități destul de mari (vezi pag. 84).

De fapt, nu contează cîte istorii care nu conțin viață inteligentă ar putea exista. Ne interesează doar submulțimea istoriilor în care se poate dezvolta viața inteligentă. Viața inteligentă nu trebuie să însemne neapărat ceva asemănător oamenilor, sînt buni și omuleții verzi. Rasa umană n-a obținut rezultate strălucite la capitolul comportament inteligent.

Ca exemplu al forței principiului antropic, să considerăm numărul de direcții din spațiu. Putem reprezenta un punct din spațiu prin trei numere, de exemplu latitudine, longitudine și înălțime deasupra nivelului mării. Dar de







(Fig. 3.11)

De la distanță, un pai pare o linie unidimensională.

ce e spațiul tridimensional? De ce n-are două sau patru sau orice alt număr de dimensiuni, ca în SF? În teoria M, spațiul are nouă sau zece dimensiuni, dar se consideră că șase sau șapte direcții sînt închise în sine foarte strîns, lăsînd trei dimensiuni mari și aproape plate (Fig. 3.11).

De ce nu trăim într-o istorie în care opt dimensiuni să fie închise în sine și mici, lăsînd numai două dimensiuni care să conteze? Un animal bidimensional ar avea mari probleme să-și digere hrana. Dacă ar avea un intestin care să treacă prin el, intestinul ar împărți animalul în două, iar biata creatură ar fi distrusă. De aceea două direcții plate nu sînt de ajuns pentru ceva atît de complicat cum e viața inteligentă. Pe de altă parte, dacă ar fi patru sau mai multe direcții plate, forțele gravitaționale dintre două corpuri ar crește prea rapid cînd ele se apropie. Ar însemna ca planetele să nu aibă orbite stabile în jurul diversilor sori. Ele fie ar cădea pe soare (Fig. 3.12A), fie ar evada în spațiul întunecos și rece (Fig. 3.12B).



Fig. 3.12A

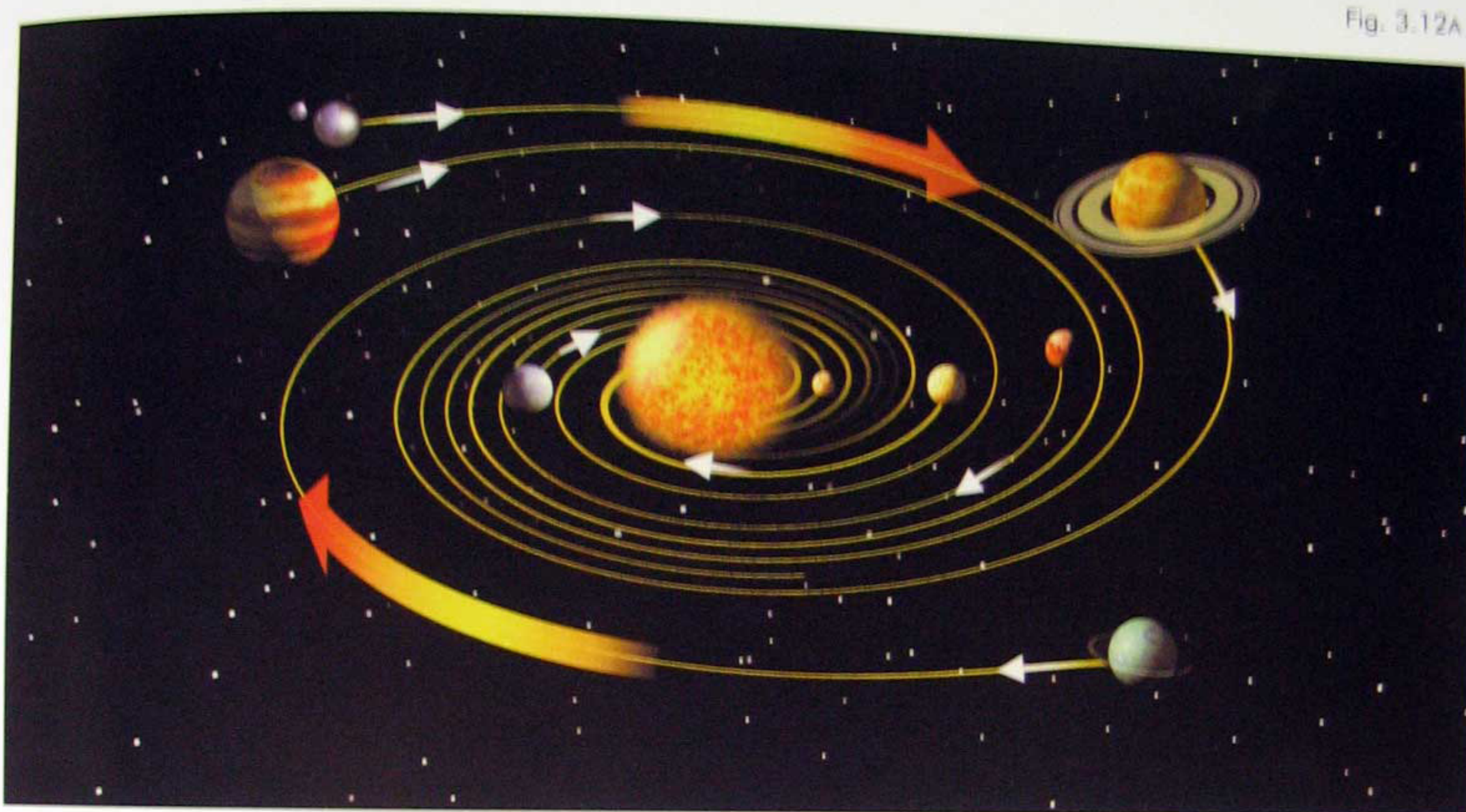
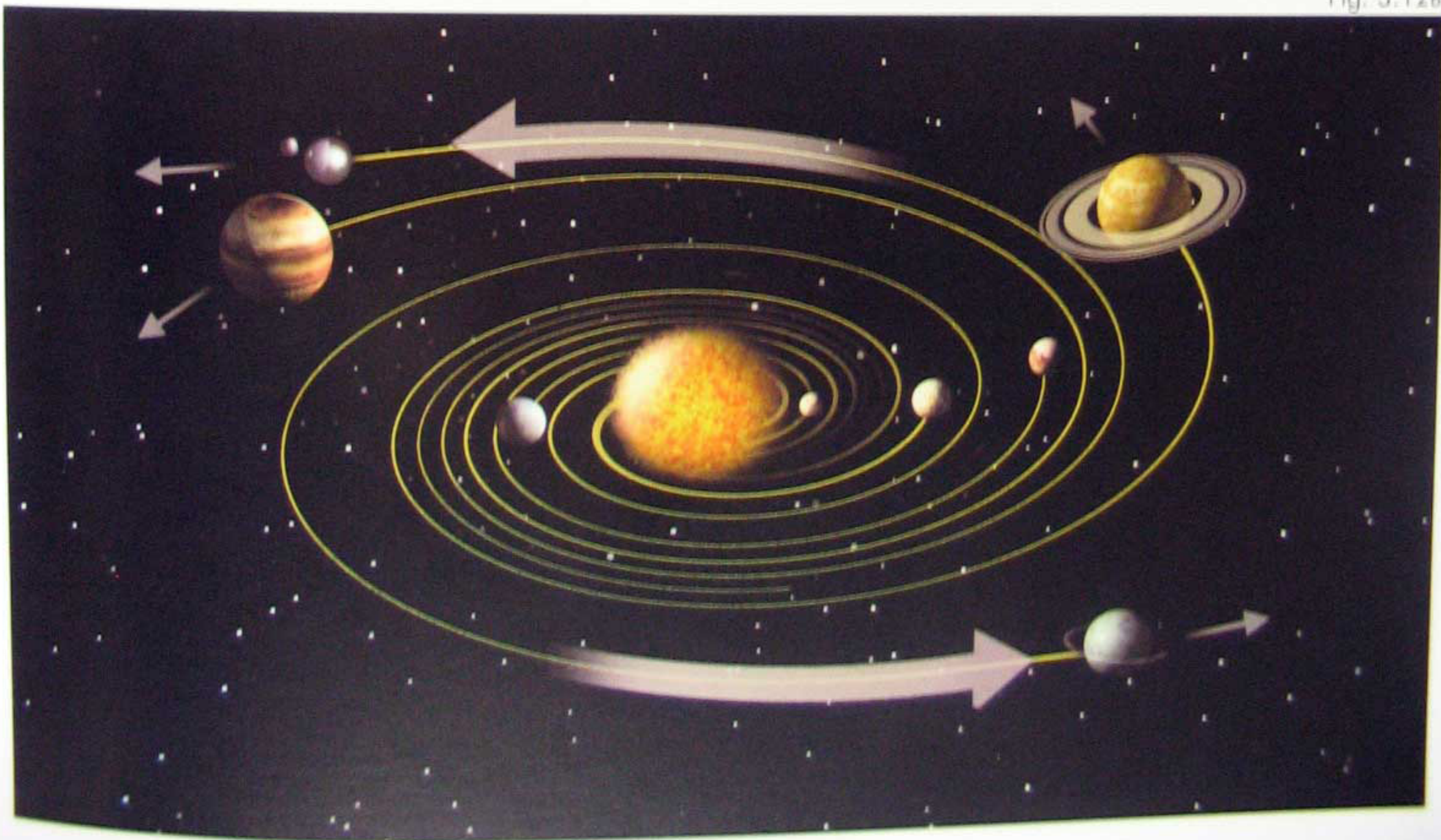
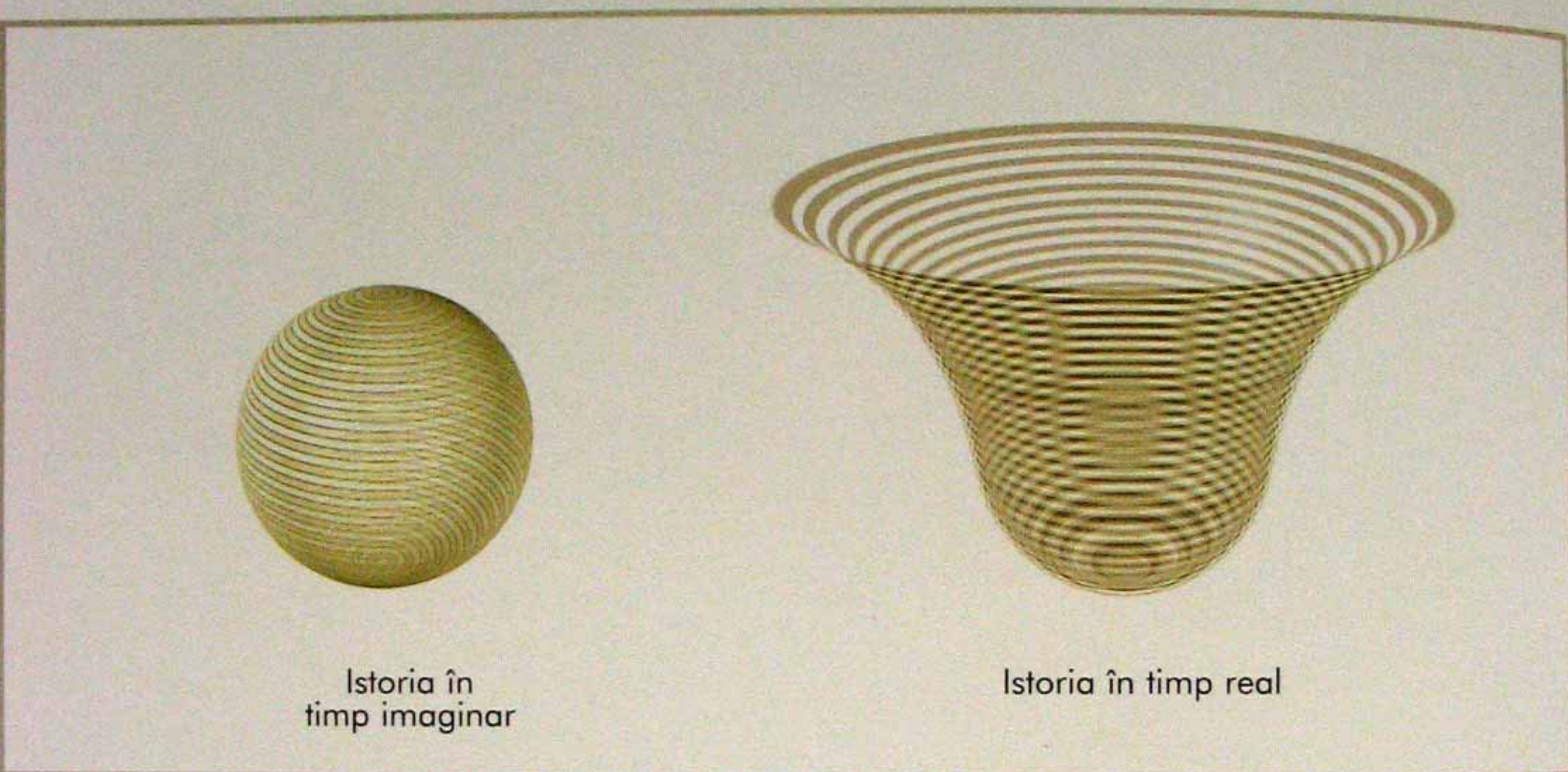


Fig. 3.12B







(Fig. 3.13)

Cea mai simplă istorie în timp imaginar fără frontiere este o sferă.

Ea determină o istorie în timp real care se dezvoltă într-o manieră inflaționistă.

În mod asemănător, orbitele electronilor în atomi n-ar mai fi stabile, așa încât materia n-ar mai fi cea pe care o știm. Deci, cu toate că ideea istoriilor multiple ar permite orice număr de direcții aproape plate, doar istoriile cu trei direcții plate pot conține ființe inteligente. Numai în aceste istorii s-ar putea pune întrebarea „De ce are spațiul trei dimensiuni?”.

Cea mai simplă istorie a universului în timp imaginar e o sferă rotundă, ca suprafața Pământului, dar cu două dimensiuni mai mult (Fig. 3.13). Ea determină o istorie a universului, în timpul real pe care-l simțim, în care universul e același în orice punct din spațiu și se extinde în timp. Din acest punct de vedere e la fel ca universul în care trăim. Viteza expansiunii e însă foarte mare și devine tot mai mare. O asemenea expansiune accelerată poartă numele de inflație, fiindcă seamănă cu felul în care prețurile cresc într-un ritm accelerat.





Fig. 3.14

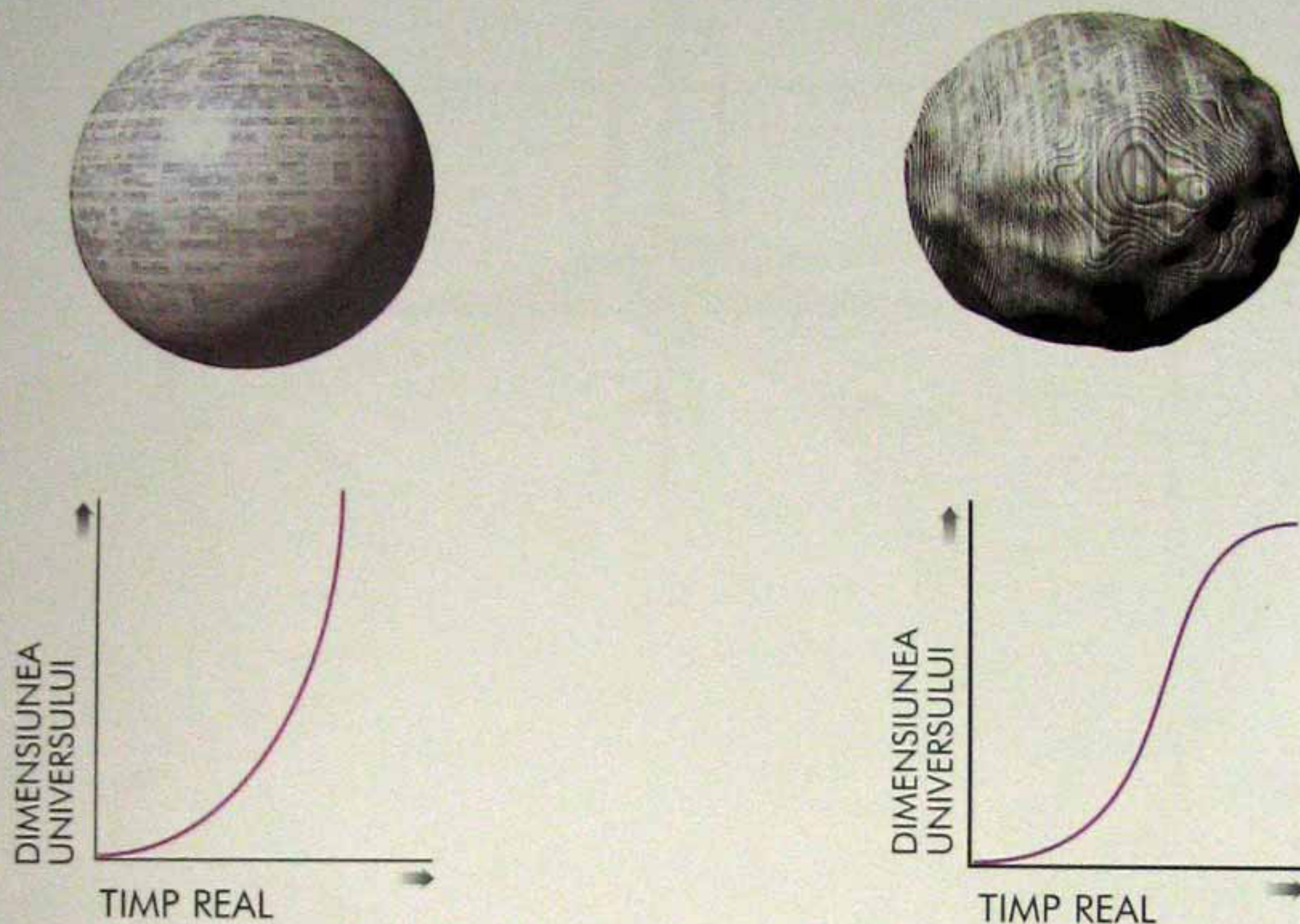
ENERGIA MATERIEI

ENERGIA GRAVITAȚIEI

Inflația prețurilor e percepută în general ca un lucru rău, dar în cazul universului inflația e benefică. O expansiune puternică netezește toate cocoloașele și protuberanțele ce ar fi putut exista în universul timpuriu. Pe măsură ce universul se extinde, el împrumută energie de la câmpul gravitațional pentru a crea mai multă materie. Energia pozitivă a materiei e compensată exact de energia gravitațională negativă, astfel încât energia totală e zero. Când universul devine de două ori mai mare, energia materiei și a gravitației se dublează și ele — de două ori zero face tot zero. Ce bine ar fi ca și lumea finanțelor să fie la fel de simplă! (Fig. 3.14)

Dacă istoria universului în timp imaginar ar fi o sferă perfect rotundă, istoria corespunzătoare în timp real ar fi un univers ce ar continua să se dilate inflaționist la nesfârșit. Deși universul e inflaționist, materia nu se poate condensa spre a





(Fig. 3.15)

### UNIVERSUL INFLAȚIONIST

În modelul mării explozii fierbinți, în universul primitiv nu trecuse destul timp pentru propagarea căldurii de la o regiune la alta. Observăm însă că, în orice direcție am privi, temperatura radiației cosmice de fond de microunde e aceeași, deci starea inițială a universului trebuie să fi avut pretutindeni aceeași temperatură.

Într-o încercare de a găsi un model în care diferitele configurații inițiale să fi putut evolua către ceva asemănător universului actual, s-a sugerat că universul timpuriu trebuie să fi trecut printr-o perioadă de expansiune foarte rapidă. Acest gen de expansiune e numit inflaționist, fiindcă se petrece la

o viteză din ce în ce mai mare, spre deosebire de viteza în scădere a expansiunii universului actual. O asemenea fază inflaționistă dă răspuns la întrebarea de ce arată universul la fel în toate direcțiile: pentru că, în universul primitiv, lumina a avut destul timp să călătorească dintr-o regiune într-alta.

Istoria corespunzând, în timp imaginar, universului în continuă expansiune e o sferă perfect rotundă. Dar în universul nostru expansiunea inflaționistă a fost încetinită după o fracțiune de secundă, iar galaxiile s-au putut forma. În timp imaginar, istoria aceasta ar arăta ca o sferă cu Polul Sud ușor aplatizat.





## INDICELE PREȚURILOR – INFLAȚIE ȘI HIPERINFLAȚIE

Iulie 1914	1,0
Ianuarie 1919	2,6
Iulie 1919	3,4
Ianuarie 1920	12,6
Ianuarie 1921	14,4
Iulie 1921	14,3
<b>Ianuarie 1922</b>	<b>36,7</b>
<b>Iulie 1922</b>	<b>100,6</b>
<b>Ianuarie 1923</b>	<b>2 785,0</b>
<b>Iulie 1923</b>	<b>194 000,0</b>
<b>Noiembrie 1923</b>	<b>726 000 000 000,0</b>



Marca germană în 1914



Zece mii de mărci în 1923



Două milioane de mărci 1923



Zece milioane de mărci 1923



Un miliard de mărci 1923

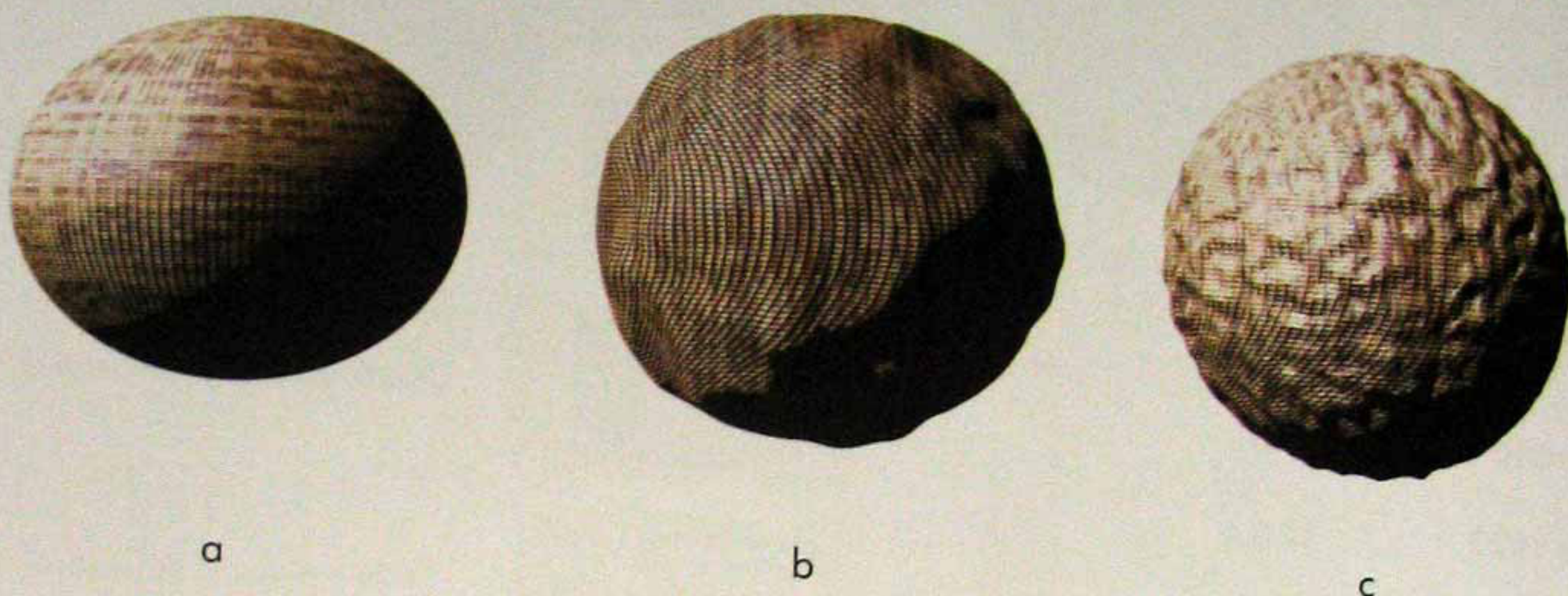
forma galaxii sau stele fără de care viața, ca să nu mai vorbim de viața inteligentă, nu s-ar putea dezvolta. Așadar, cu toate că noțiunea de istorii multiple admite istorii ale universului care, în timp imaginar, sînt sfere perfect rotunde, ele nu prezintă mare interes. Istoriile în timp imaginar care au Polul Sud ușor aplatizat sînt mult mai relevante (Fig. 3.15).

În acest caz, istoria corespunzătoare în timp real se va dilata accelerat, inflaționist, la început. Apoi însă expansiunea începe să se domolească, iar galaxiile se pot forma. Pentru ca viața inteligentă să se poată dezvolta, aplatizarea Polului Sud trebuie să aibă loc foarte lent. Înseamnă că inițial universul se va dilata imens. Recordul de inflație monetară a fost atins în Germania interbelică, unde prețurile au crescut de miliarde de ori — dar nivelul inflației din univers a fost de cel puțin un miliard de miliarde de miliarde de ori mai mare (vezi Fig. 3.16).

(Fig. 3.16) INFLAȚIA POATE FI O LEGE A NATURII

Inflația a început în Germania după încheierea păcii. Pînă în februarie 1920 prețurile ajunseseră de 5 de ori mai mari decît în 1918. După iulie 1922 a început faza de hiperinflație. Orice încredere în monedă dispărea, iar indicele prețurilor creștea galopant, tipografiile nemaiputînd ține pasul cu ritmul în care se deprecia moneda. În 1923, 300 de fabrici de hîrtie lucrau la viteză maximă, iar 150 de companii tipografice aveau 2000 de prese care lucrau zi și noapte.





(Fig. 3.17)

#### ISTORII PROBABILE ȘI IMPROBABILE

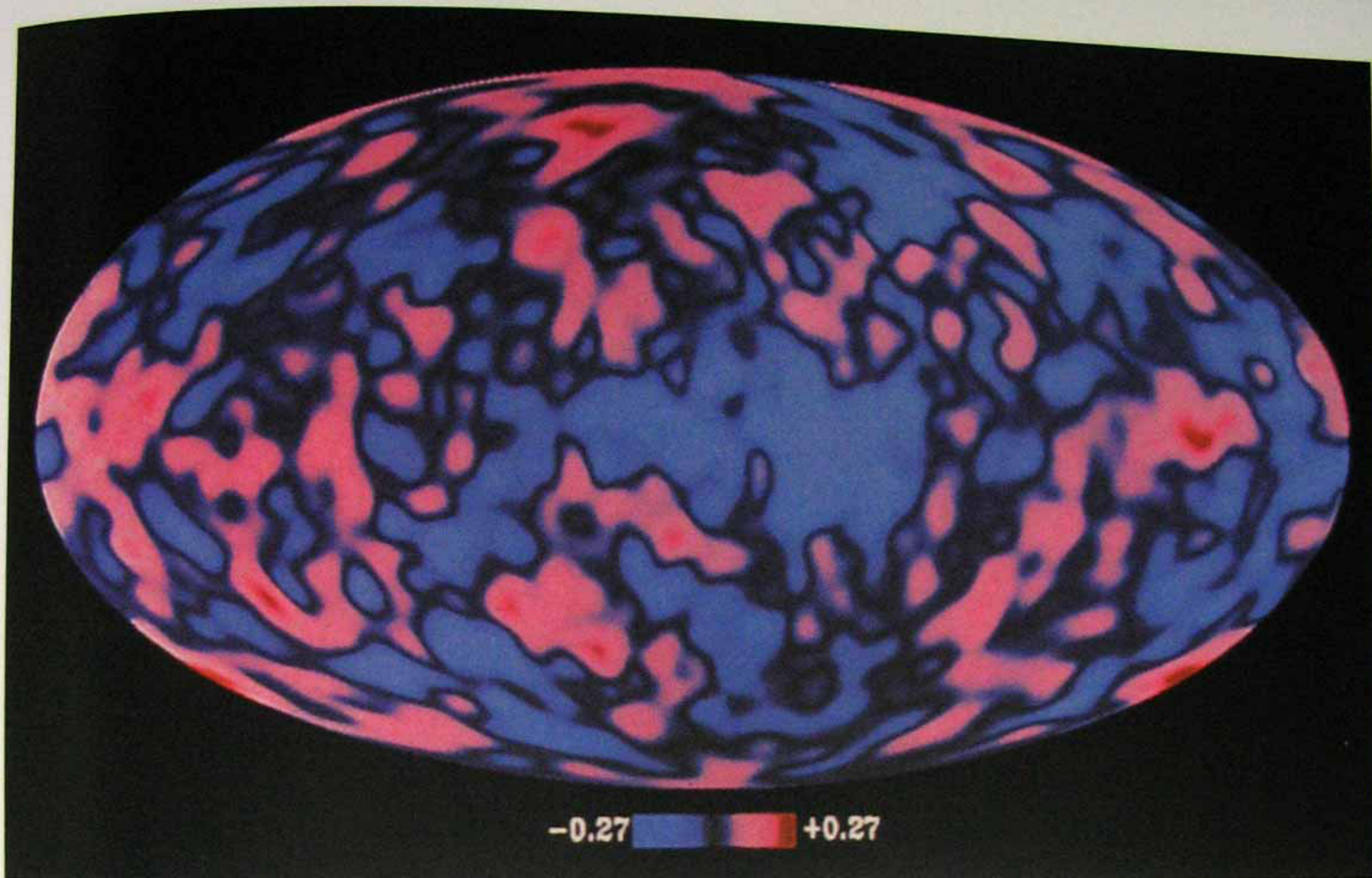
Istoriile netede precum **(a)** sînt cele mai probabile, dar există doar în număr foarte mic.

Cu toate că istoriile ușor neregulate **(b)** și **(c)** sînt mai puțin probabile, ele sînt în număr atît de mare, încît istoriile verosimile ale universului trebuie să fi avut ușoare abateri de la forma netedă.

Din cauza principiul de incertitudine nu poate exista doar o singură istorie a universului care să conțină viață inteligentă. Istoriile în timp imaginar vor fi o întreagă familie de sfere ușor deformate, fiecare corespunzînd unei istorii în timp real în care universul se extinde inflaționist pentru mult timp, dar nu indefinit. Ne putem atunci întreba care dintre aceste istorii posibile e cea mai probabilă. Se dovedește că cele mai probabile istorii nu sînt perfect netede, ci au mici dealuri și văi (Fig. 3.17). Încrêțiturile celor mai probabile istorii sînt într-adevăr foarte mici. Abaterile de la forma netedă sînt de ordinul lui unu la o sută de mii. Deși sînt atît de mici, am reușit să le observăm ca mici variații în radiația de microunde ce provine din direcții diferite din spațiu. Satelitul COBE (Cosmic Background Explorer) a fost lansat în 1989 și a făcut o hartă a cerului în microunde.

Culorile diferite indică temperaturi diferite, dar întreaga scală de la roșu la albastru este de aproximativ o zecime de miime de grad. Aceste diferențe între diversele regiuni ale





universului timpuriu sînt suficient de mari pentru ca atracția gravitațională suplimentară din regiunile mai dense să le oprească în cele din urmă expansiunea și să le provoace colapsarea sub propria lor gravitație pentru a forma galaxii și stele. Astfel, cel puțin în principiu, hărțile COBE sînt planuri detaliate ale tuturor structurilor din univers.

Care va fi comportarea viitoare a celor mai probabile istorii ale universului compatibile cu apariția ființelor inteligente? Par să existe mai multe posibilități, în funcție de cantitatea de materie din univers. Dacă ea depășește o anumită valoare critică, atracția gravitațională dintre galaxii va încetini și în cele din urmă va opri goana lor. Galaxiile vor începe apoi să cadă una spre alta și se vor strînge toate într-o mare implozie (big crunch), care va fi sfîrșitul istoriei universului în timp real (vezi Fig. 3.18, pag. 96).

Dacă densitatea universului este sub valoarea critică, gravitația va fi prea slabă pentru a împiedica galaxiile să se înde-

*Harta întregului cer obținută de sistemul DMR de pe satelitul COBE, punînd în evidență abaterile timpului de la forma netedă.*





(Fig. 3.18, deasupra)

Un posibil sfârșit al universului este marea implozie (big crunch), în care materia va fi aspirată într-un cataclism gravitațional.

(Fig. 3.19, pag. 97)

Lungul vaiet rece în care totul se depărtează, iar ultimele stele abia pîlpîie, epuizîndu-și combustibilul.

părteze pe vecie. Toate stelele se vor stinge, iar universul va deveni din ce în ce mai rece și mai pustiu. Astfel, și în acest caz, totul va sfîrși, dar într-un mod mai puțin dramatic. În ambele situații, universul mai are de trăit cîteva miliarde bune de ani (Fig. 3.19).

Pe lîngă materie, universul mai poate conține și așa-numita „energie a vidului”, energie prezentă chiar și în spațiul aparent gol. Conform celebrei ecuații a lui Einstein  $E = mc^2$ , această energie a vidului are masă, deci are efecte gravitaționale asupra expansiunii universului. Dar, lucru remarcabil, efectul energiei vidului e opus celui al materiei. Materia provoacă încetinirea expansiunii și poate în cele din urmă s-o oprească și s-o inverseze. Pe de altă parte, energia vidului face ca expansiunea să se accelereze inflaționist. De fapt, energia vidului acționează precum constanta cosmologică men-





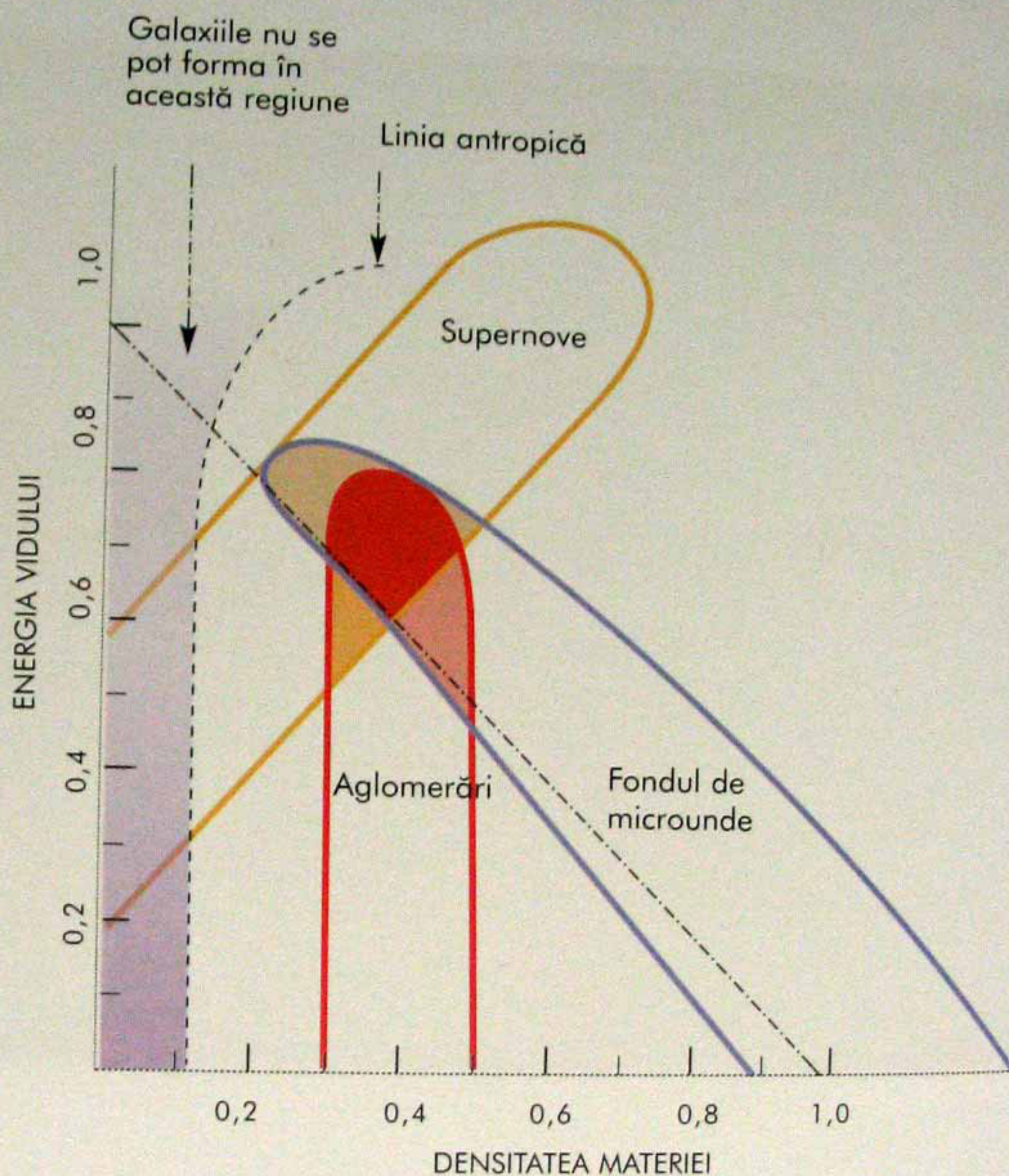
ționată în capitolul 1, pe care Einstein a introdus-o în ecuațiile originale din 1917, când și-a dat seama că soluțiile lor nu reprezintă un univers static. După ce Hubble a descoperit expansiunea universului, motivația adăugării unui termen la ecuații a dispărut, iar Einstein și-a renegat constanta cosmologică socotind-o o greșeală.

Totuși, poate că nu e deloc o greșeală. După cum am spus în capitolul 2, ne dăm acum seama că teoria cuantică implică faptul că spațiu-timpul e plin de fluctuații cuantice. Într-o teorie supersimetrică, energiile infinite, pozitive și negative, ale acestor fluctuații ale stării fundamentale se anulează între particulele cu spini diferiți. Dar nu ne-am aștepta ca energia pozitivă și cea negativă să se anuleze complet, dacă n-ar exista o cantitate mică, finită, de energie a vidului, deoarece universul nu e o stare supersimetrică. Singura surpriză este că

CONSTANTA  
COSMOLOGICĂ  
A FOST  
CEA MAI MARE  
GREȘEALĂ  
A MEA?

*Albert Einstein*





(Fig. 3.20)

Combinând observațiile privind supernovele îndepărtate, radiația cosmică de microunde de fond și distribuția de materie din univers, energia vidului și densitatea de materie din univers pot fi destul de bine estimate.

energia vidului e mult mai aproape de zero decât se credea cu ceva timp în urmă. Poate că acesta e un alt exemplu pentru principiul antropic. O istorie cu o energie a vidului mai mare n-ar fi format galaxii și deci n-ar fi putut conține ființe care să-și pună întrebarea: „De ce are energia vidului valoarea pe care o observăm?”

Putem încerca să determinăm cantitatea de materie din univers prin diferite observații. Rezultatele apar într-o diagramă în care densitatea de materie este pe axa orizontală, iar energia vidului pe verticală. Linia punctată reprezintă frontierele regiunii în care s-ar putea dezvolta viața inteligentă (Fig. 3.20).



*Aș putea fi închis într-o coajă de nucă  
și să mă cred regele spațiului infinit.*

Shakespeare,  
*Hamlet*, Actul 2, Scena 2



Observațiile privind supernovele, aglomerările de materie și radiația de fond de microunde delimitează, fiecare, regiunile din această diagramă. Din fericire, cele trei regiuni au o intersecție comună. Dacă densitatea de materie și energia vidului se află în acest domeniu înseamnă că, după o lungă perioadă de încetinire, expansiunea universului începe să se accelereze. Inflația ar putea fi o lege a naturii.

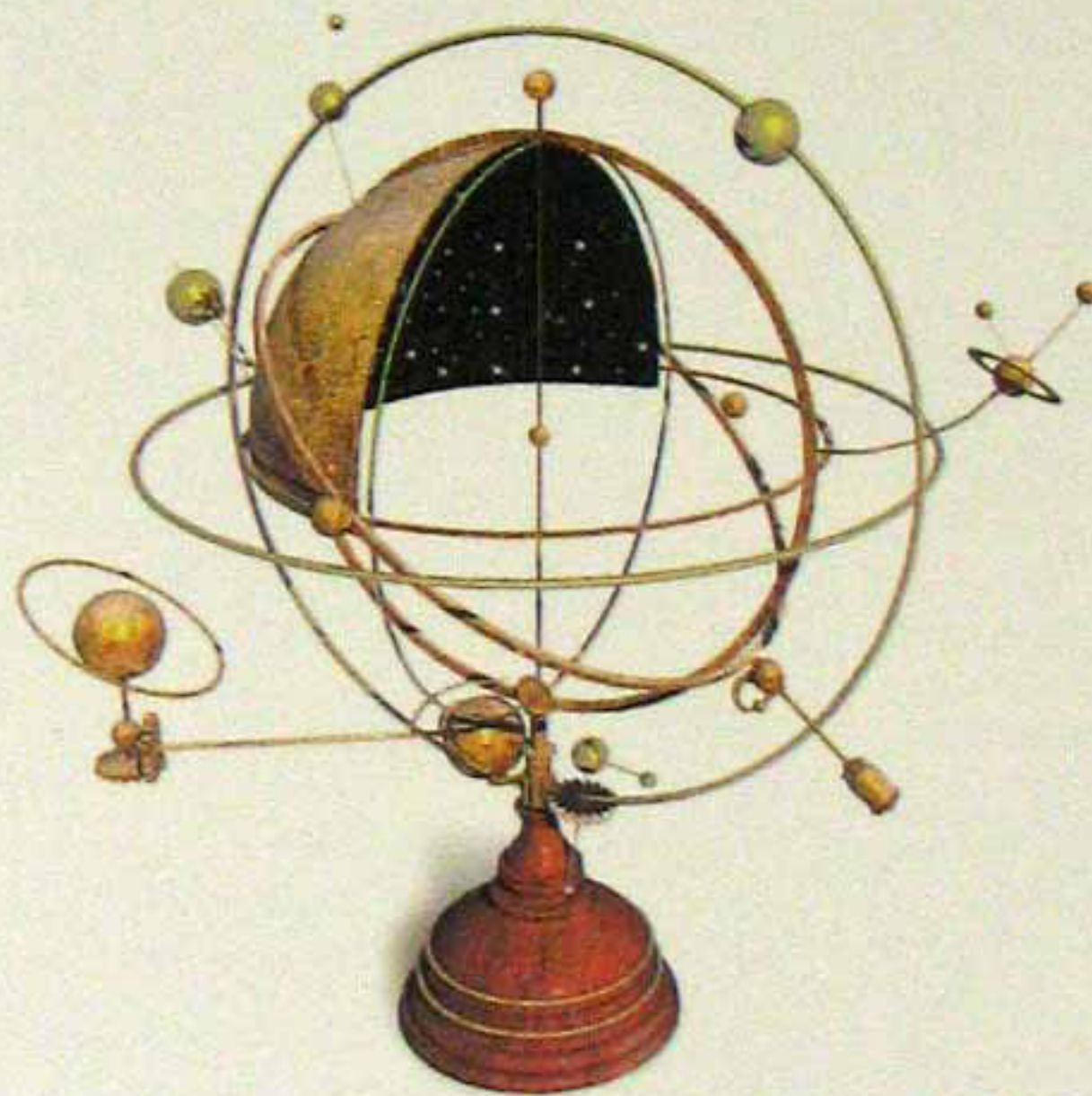
În acest capitol am văzut cum poate fi înțeleasă comportarea universului vast în termenii istoriei sale în timp imaginar, care e o sferă micuță, ușor aplatizată. E aidoma cojii de nucă a lui Hamlet, iar în această nucă e codificat tot ce se întâmplă în timpul real. Hamlet a avut dreptate. Putem fi închiși într-o coajă de nucă și să ne credem regi ai spațiului nemărginit.



## CAPITOLUL 4

# Prezicînd viitorul

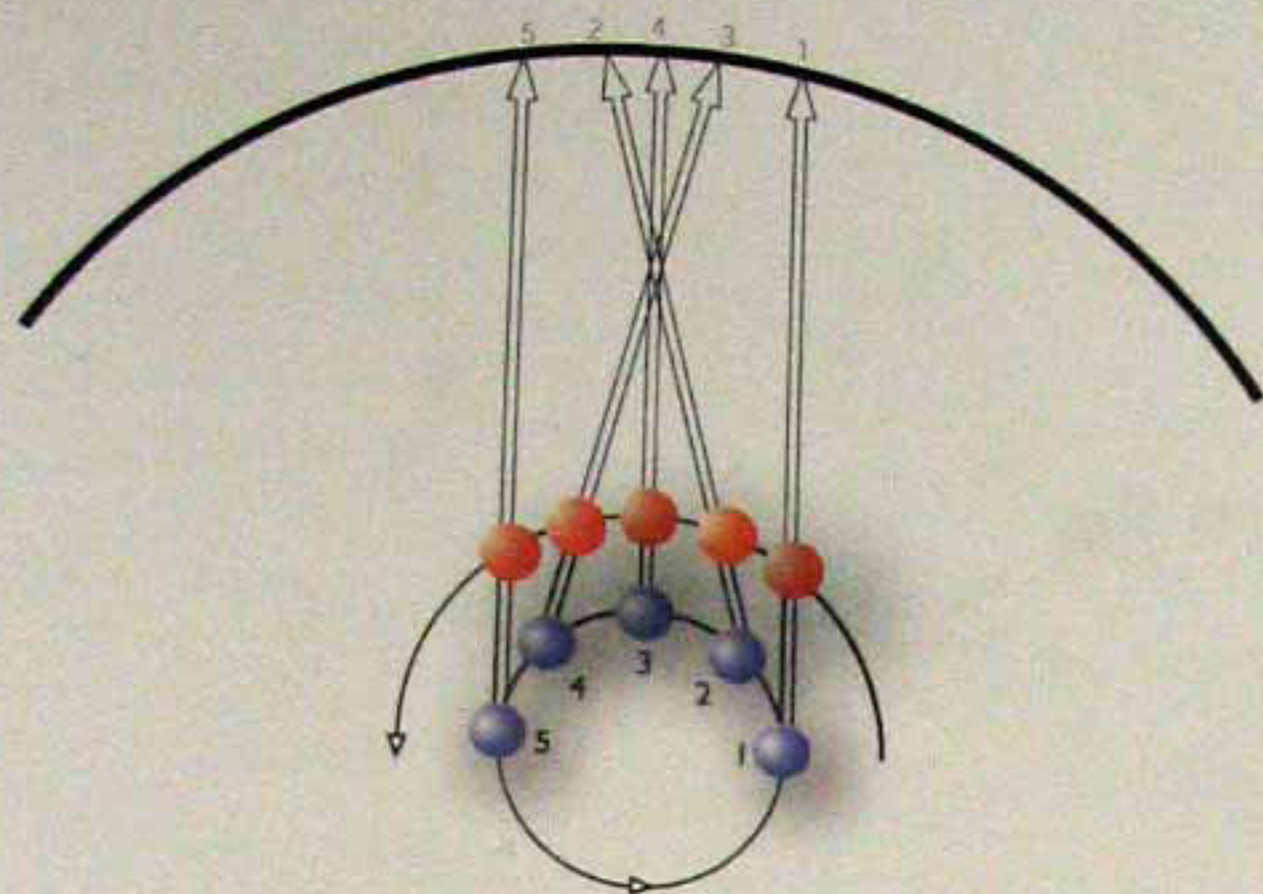
*Pierderea informației în găurile negre  
poate reduce capacitatea noastră de a prezice viitorul.*











(Fig. 4.1)

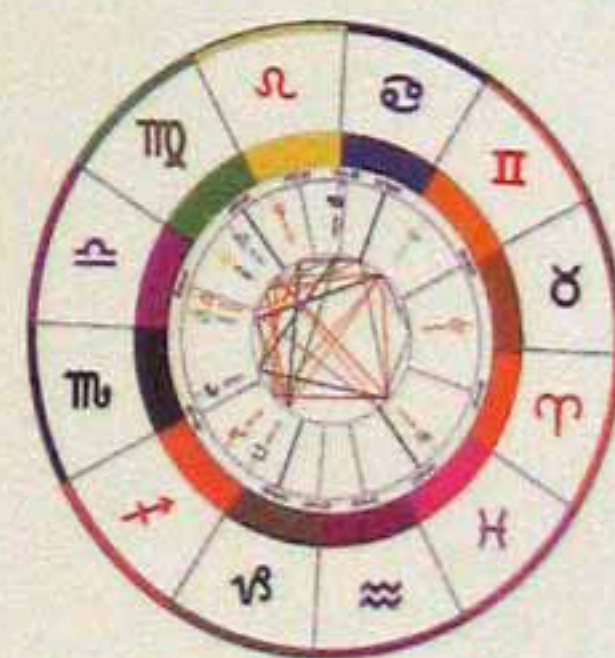
Un observator de pe Pământ (albastru), care se învîrte în jurul Soarelui, privește spre Marte (roșu) pe fondul constelațiilor.

Mișcarea aparent complicată a planetelor pe cer poate fi explicată prin legile lui Newton și n-are nici o influență asupra soartei noastre.

**R**asa umană și-a dorit mereu să controleze viitorul, sau cel puțin să-l prezică. De aceea astrologia e atît de populară. Astrologii pretind că evenimentele de pe Pământ se leagă de mișcarea planetelor pe cer. E o ipoteză testabilă științific, sau ar putea fi, dacă astrologii ar avea curajul să facă preziceri clare, verificabile. Dar, destul de abili, ei fac prognoze vagi, care se pot aplica oricărei situații. Afirmatii de genul „Relațiile personale pot deveni intense” sau „Vi se va oferi șansa să vă îmbogățiți” nu pot fi dezmințite niciodată.

Motivul real pentru care cei mai mulți savanți nu cred în astrologie nu e dovada științifică sau lipsa ei, ci faptul că astrologia e incompatibilă cu alte teorii, testate experimental. După ce Copernic și Galilei au descoperit că planetele se mișcă în jurul Soarelui și nu al Pământului, iar Newton a găsit legile care guvernează aceste mișcări, plauzibilitatea astrologiei a scăzut drastic. De ce ar exista vreo corelație între pozițiile altor planete pe firmament, așa cum se văd de pe Pământ, și niște macromolecule care se cred viață inteligentă, de pe o planetă mărunță (Fig. 4.1)? Asta ne pretinde însă astrologia să credem. Pentru unele dintre teoriile prezentate aici nu există mai multe dovezi decît pentru astrologie, dar le dăm credit fiindcă sînt în concordanță cu teoriile care au supraviețuit testelor.

Succesul legilor lui Newton și al altor teorii fizice conduce la ideea de determinism științific, exprimată pentru prima



„Luna aceasta Marte se află în casa Săgetătorului, iar pentru dumneavoastră a sosit momentul cunoașterii de sine. Marte vă cere să vă trăiți viața așa cum simțiți dumneavoastră, și nu cum cred ceilalți. Și așa va fi.

Pe 20 ale lunii, Saturn intră în sectorul hărții dumneavoastră solară legat de îndatoriri și carieră și veți învăța să vă asumați responsabilități și să vă descurcați în relațiile dificile.

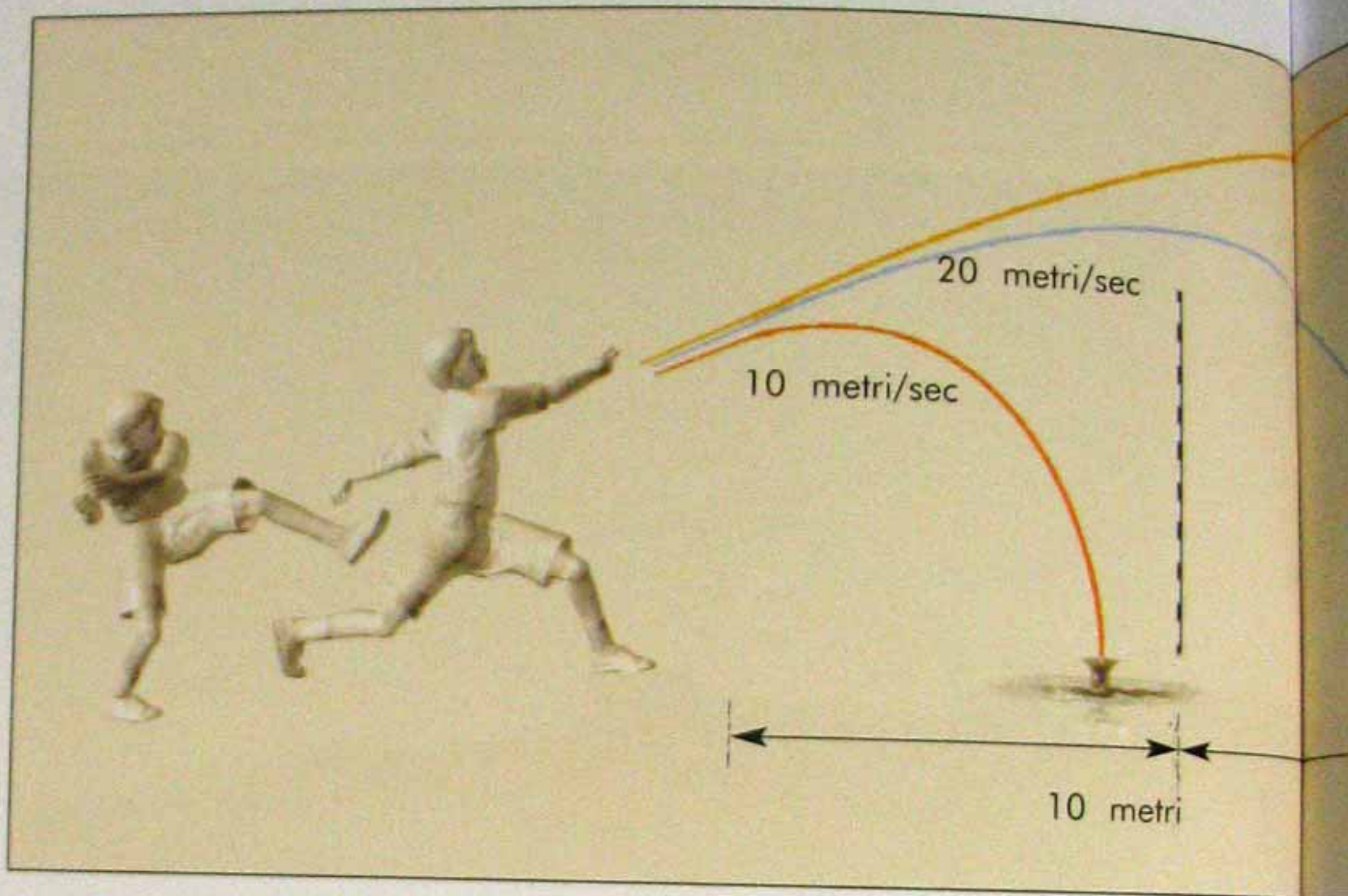
Cînd va fi lună plină, veți ajunge totuși să vă priviți în profunzime și să aveți o viziune de ansamblu asupra întregii vieți, care vă va transforma.”





(Fig. 4.2)

Dacă știți de unde și cu ce viteză ați aruncat o minge de baseball, puteți prezice unde va cădea.



(Fig. 4.3)

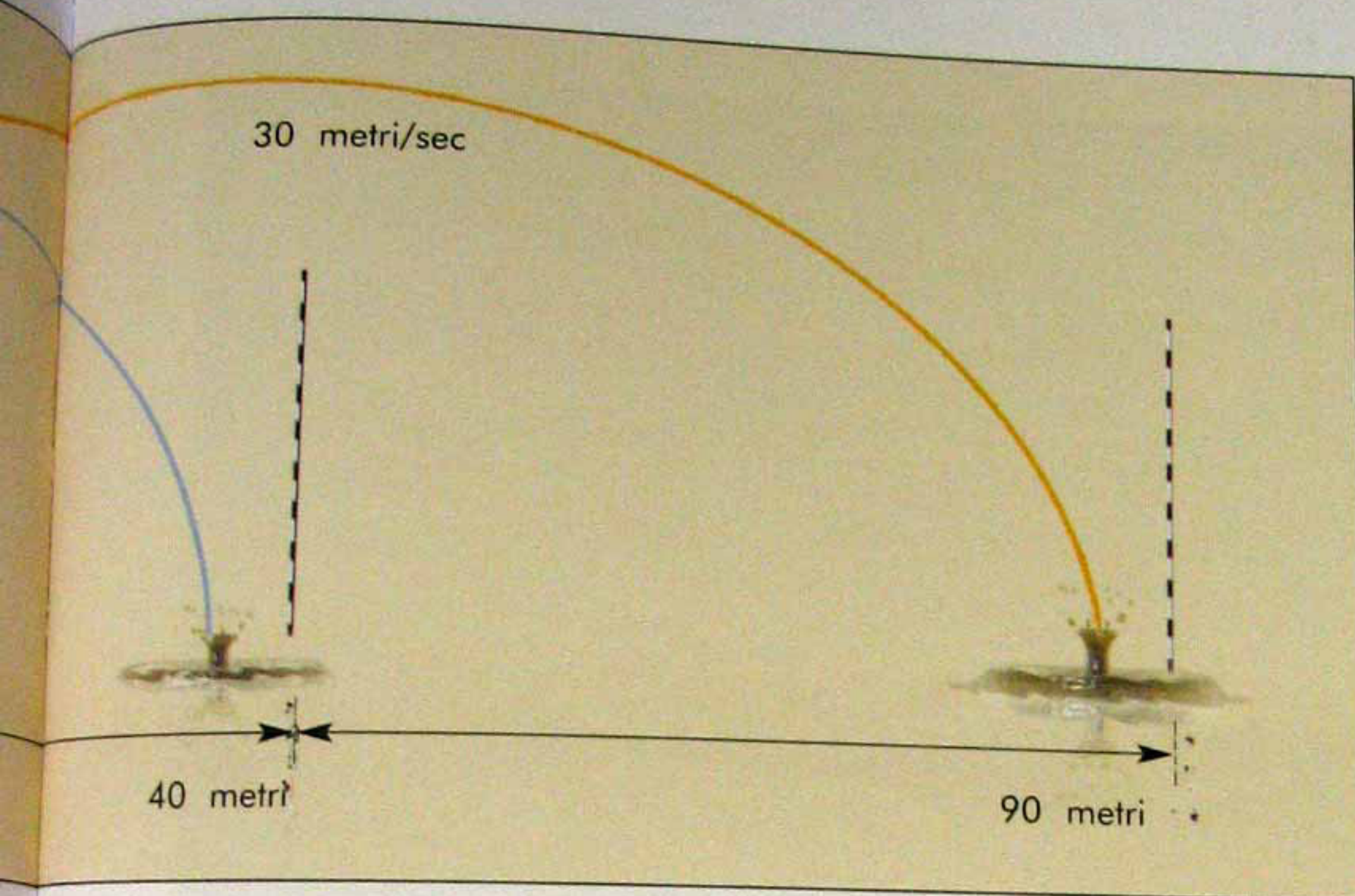


dată la începutul secolului XIX de un savant francez, marchizul de Laplace. Laplace a sugerat că, dacă știm pozițiile și vitezele tuturor particulelor din univers la un moment dat, legile fizicii ne-ar permite să prezicem starea universului la orice moment din trecut sau din viitor (Fig. 4.2).

Cu alte cuvinte, dacă determinismul științific e valabil, am putea în principiu prezice viitorul și n-am mai avea nevoie de astrologie. Firește, în practică pînă și ceva atît de simplu cum e teoria newtoniană a gravitației conduce la ecuații pe care nu le putem rezolva exact decît pentru două particule. Mai mult, ecuațiile au de multe ori o proprietate numită haos — o mică schimbare în poziție sau viteză la un moment dat duce la comportări complet diferite la momente ulterioare. Așa cum ați văzut în *Jurassic Park*, o ușoară perturbație dintr-un loc poate provoca una majoră într-alt loc. Un fluture ce dă din aripi la Tokyo poate provoca o ploaie în Central Park, la New York (Fig. 4.3). Din păcate, șirul evenimentelor nu e repetabil. Data viitoare cînd fluturele va bate din aripi, mulți alți factori vor fi diferiți și vor influența de asemenea vremea. De aceea prognozele meteo sînt atît de nesigure.

Astfel, deși în principiu legile electrodinamicii cuantice ne-ar permite să calculăm orice în chimie și biologie, n-am reușit să





prezicem comportamentul uman pornind de la ecuații matematice. În ciuda acestor dificultăți practice, oamenii de știință se consolează cu ideea că, cel puțin în principiu, viitorul e predictibil.

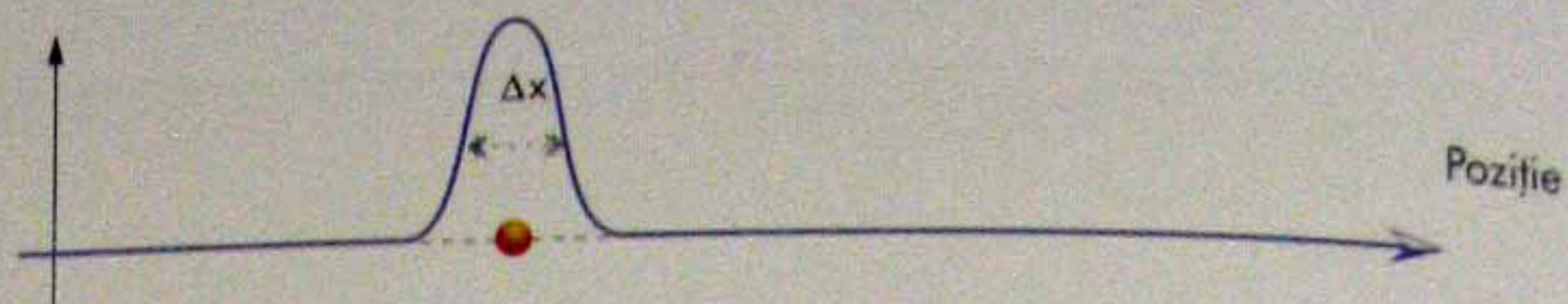
La prima vedere, determinismul pare amenințat de principiul de incertitudine, care spune că nu se pot măsura simultan cu precizie atât poziția, cât și viteza unei particule. Cu cât măsurăm mai precis poziția, cu atât viteza poate fi determinată mai puțin precis, și invers. Versiunea Laplace a determinismului științific susține că, dacă am cunoaște pozițiile și vitezele particulelor la un moment dat, am putea determina pozițiile și vitezele la orice moment de timp din trecut sau din viitor. Dar de unde să începem, dacă principiul de incertitudine ne împiedică să cunoaștem cu precizie simultan poziția și viteza? Oricât de bun ar fi calculatorul nostru, dacă introducem date mizerabile, obținem rezultate mizerabile.

Determinismul a fost însă reinstaurat sub o formă modificată, într-o nouă teorie numită mecanica cuantică, ce încorporează principiul de incertitudine. În mecanica cuantică putem prezice cu precizie aproximativ jumătate din ceea ce ne-am

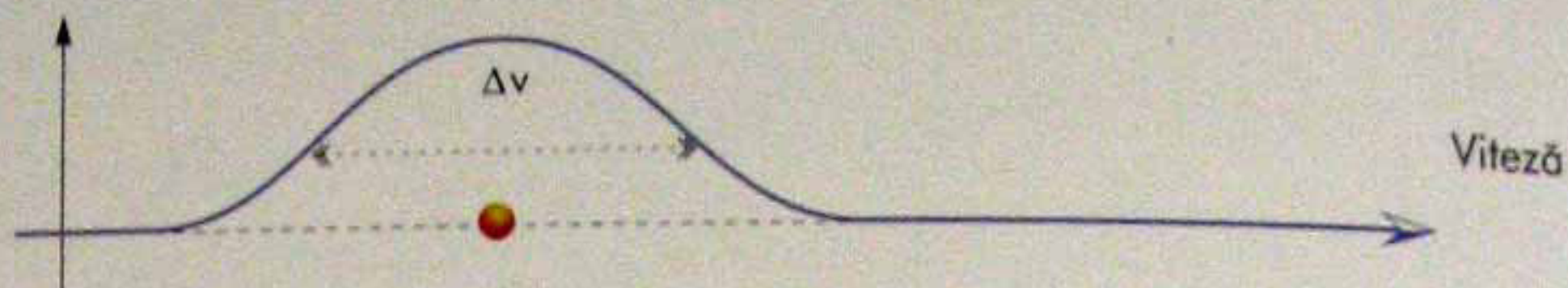




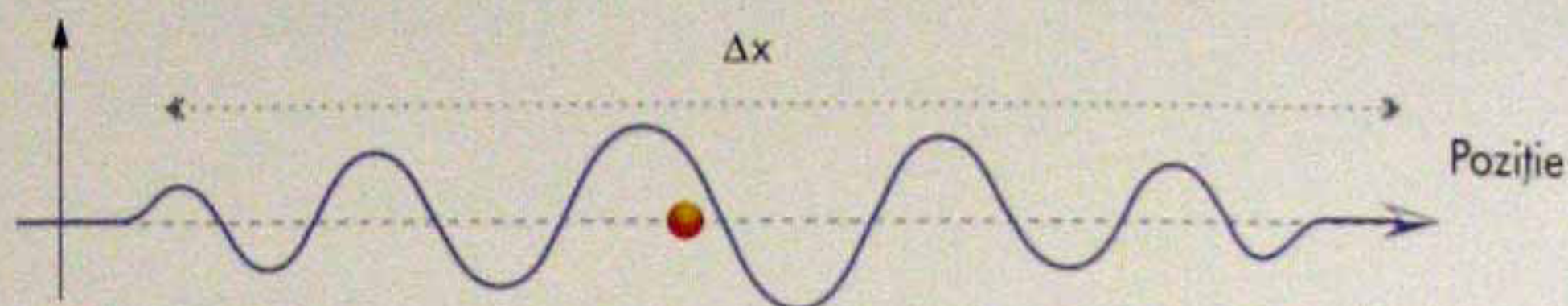
FUNCȚIE DE UNDĂ  $\Psi$   
PUTERNIC LOCALIZATĂ



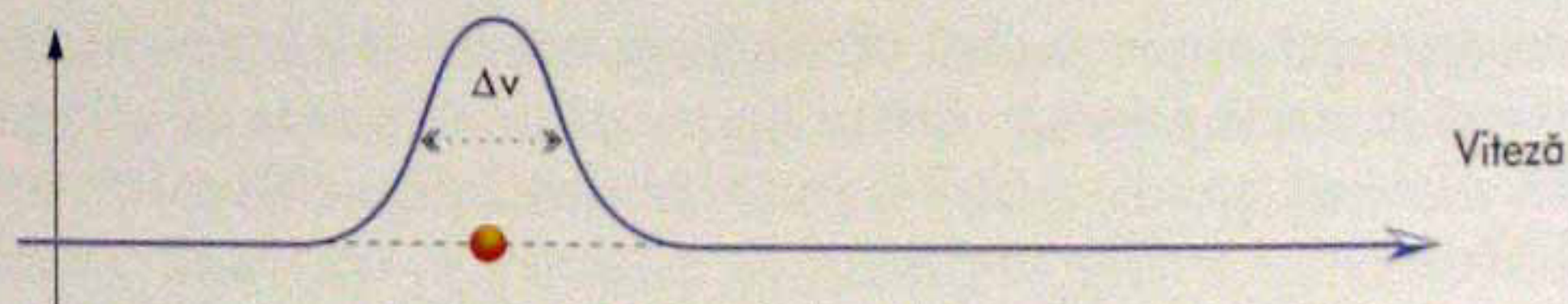
DISTRIBUȚIA DE PROBABILITATE  
PENTRU VITEZA PARTICULEI



FUNCȚIE DE UNDĂ  $\Psi$   
A TRENULUI DE UNDE



DISTRIBUȚIA DE PROBABILITATE  
PENTRU VITEZA PARTICULEI



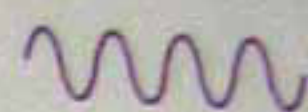
(Fig. 4.4)

Funcția de undă determină probabilitățile ca particula să aibă diferite poziții și viteze astfel încât  $\Delta x$  și  $\Delta v$  să satisfacă principiul de incertitudine.

aștepta să prezică perspectiva clasică a lui Laplace. În mecanica cuantică, o particulă nu poate avea simultan o poziție și o viteză bine definite, dar starea ei *poate* fi reprezentată prin așa-numita funcție de undă (Fig. 4.4).

Funcția de undă e un număr în fiecare punct din spațiu care dă probabilitatea ca particula să se afle în acea poziție. Rata cu care se schimbă funcția de undă de la un punct la altul ne spune cât de probabile sînt diferitele viteze. Unele funcții de undă sînt centrate strîns într-un punct din spațiu. În acest caz, incertitudinea asupra poziției particulei e destul de mică. Dar putem de asemenea vedea în diagramă că funcția de undă se modifică rapid în preajma aceluiași punct, în sus de o parte, în jos de cealaltă parte. Rezultă că distribuția de probabilitate pentru viteze e împrăștiată pe un domeniu larg. Cu alte cuvinte, incertitudinea în viteze e mare. Să considerăm





$$\Psi_0 \bar{\Psi}_0 = \sqrt{\frac{m}{\pi}} e^{-2(V_0 \bar{x}_i^2 + A)}$$

$$i\hbar \frac{d}{dt} \Psi(\vec{x}, t) = H \Psi(\vec{x}, t)$$

pe de altă parte, un tren de unde continuu. Acum există o incertitudine mare în poziții, dar o incertitudine mică în viteze. Astfel, descrierea unei particule printr-o funcție de undă nu furnizează poziții sau viteze bine definite. Înțelegem acum că funcția de undă este *tot* ce poate fi bine definit. Nu putem nici măcar presupune că particula ar avea o poziție și o viteză cunoscute de Dumnezeu, dar ascunse nouă. Astfel de teorii cu „variabile ascunse” prezic rezultate care nu sînt în acord cu observațiile. Pînă și Dumnezeu e supus principiului de incertitudine și nu poate cunoaște poziția și viteza; El poate cunoaște doar funcția de undă.

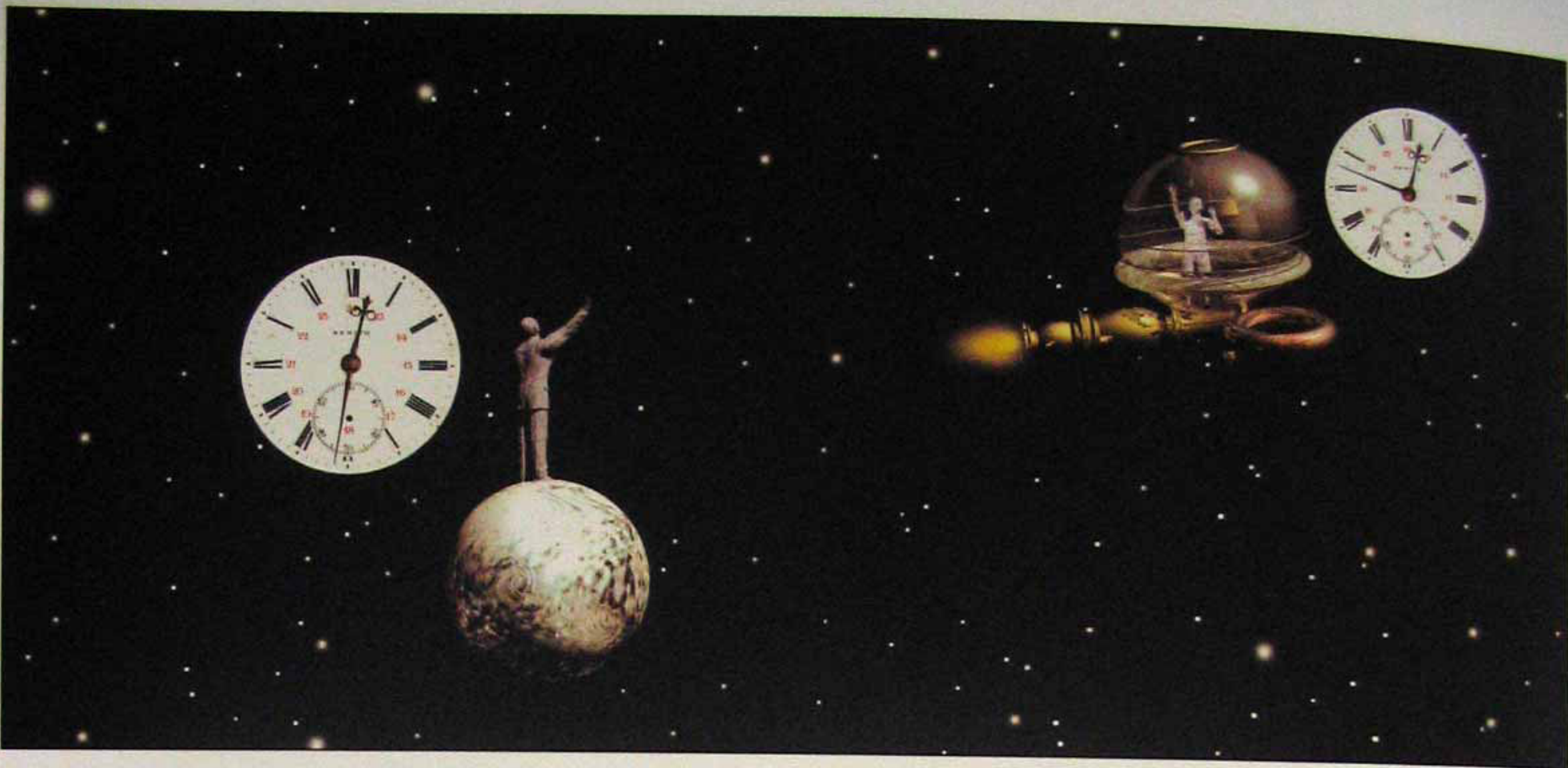
Rata cu care se modifică funcția de undă în timp e dată de ecuația lui Schrödinger (Fig. 4.5). Dacă știm funcția de undă la un moment dat, putem folosi ecuația lui Schrödinger pentru a o calcula la orice alt moment de timp, trecut sau viitor.

(Fig. 4.5)

## ECUAȚIA LUI SCHRÖDINGER

Evoluția în timp a funcției de undă  $\Psi$  este dată de operatorul lui Hamilton  $H$ , care e asociat energiei sistemului fizic considerat.





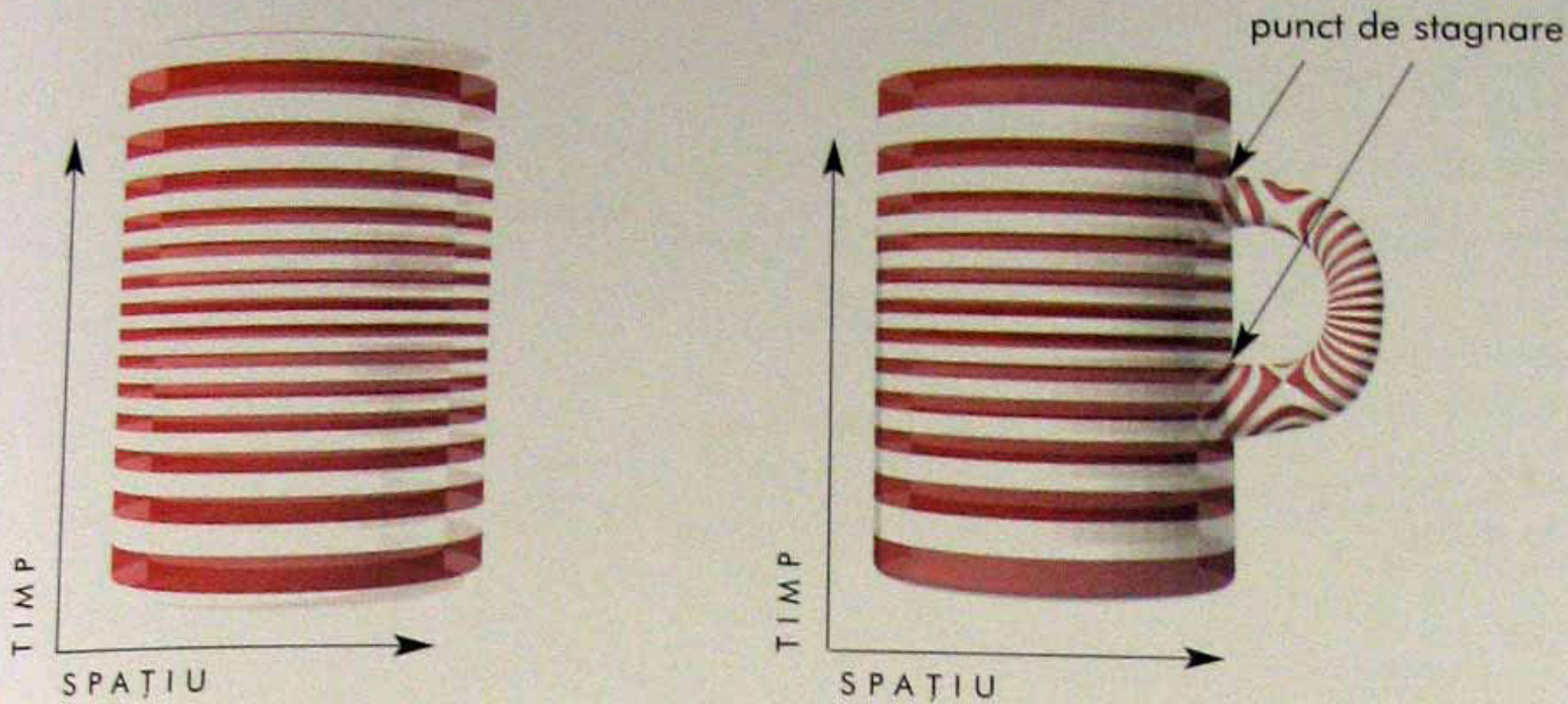
(Fig. 4.6)

În spațiu-timpul plat al relativității restrânse, observatorii care se deplasează cu viteze diferite vor avea măsuri diferite ale timpului, dar putem folosi ecuația Schrödinger la orice moment de timp pentru a prezice care va fi funcția de undă în viitor.

Prin urmare, există determinism în mecanica cuantică, dar la o scară redusă. Nu sîntem capabili să prezicem atît viteza, cît și poziția, dar putem prezice funcția de undă. Aceasta ne-ar permite să prezicem fie poziția, fie viteza, dar nu pe amîndouă simultan cu precizie. Așadar, capacitatea de a face predicții în mecanica cuantică reprezintă doar jumătate din cea oferită de perspectiva clasică a lui Laplace. Dar, în acest sens restrîns, putem spune că există determinism.

Folosirea ecuației Schrödinger pentru a urmări evoluția în timp a funcției de undă (a prezice ce se va întîmpla în viitor) presupune implicit că, pretutindeni și mereu, timpul curge lin. Acest lucru era evident valabil în fizica newtoniană. Timpul se presupunea a fi absolut, rezultînd de aici că fiecărui eveniment din istoria universului i se asocia un număr numit timp și că un șir de numere asociate timpului curge lin de la trecutul infinit spre viitorul infinit. Aceasta e ceea ce am numi perspectiva de bun-simț asupra timpului, care se află în subconștientul celor mai mulți oameni, ba chiar și al fizicienilor. Dar, așa cum am văzut, în 1905 conceptul de timp absolut a fost detronat de teoria relativității restrânse, în care timpul nu mai e o mărime de sine stătătoare, ci doar o direcție într-un continuu cvadridimensional, numit spațiu-timp. În teoria relativității





restrînse, observatori diferiți, deplasându-se cu viteze diferite, se mișcă prin spațiu-timp pe drumuri diferite. Fiecare observator are propria lui măsură a timpului de-a lungul drumului pe care-l urmează, iar observatori diferiți vor măsura intervale de timp diferite între evenimente (Fig. 4.6).

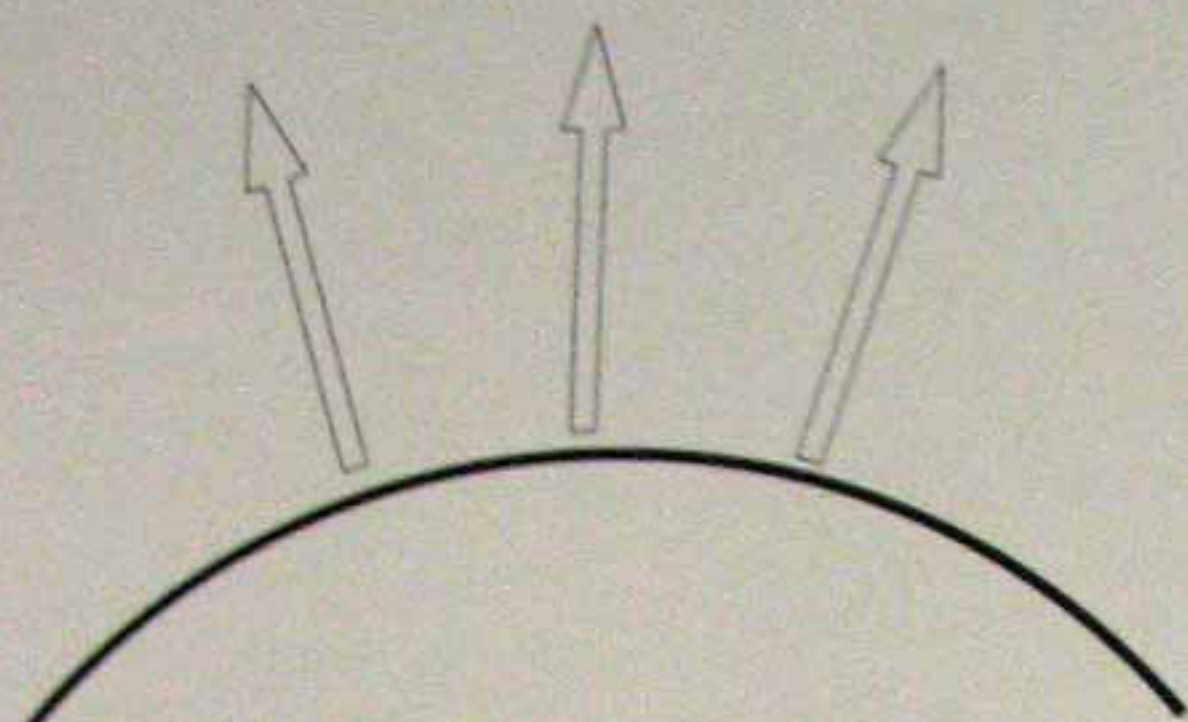
În relativitatea restrînsă nu există deci un timp unic absolut pe care să-l asociem evenimentelor. Spațiu-timpul în relativitatea restrînsă e însă plat, prin urmare timpul măsurat de orice observator ce se mișcă liber crește lin de la minus infinit, în trecutul infinit, la plus infinit, în viitorul infinit. Putem folosi oricare din aceste măsuri ale timpului în ecuația Schrödinger pentru a urmări evoluția funcției de undă. În relativitatea restrînsă rămîne deci valabilă versiunea cuantică a determinismului.

Situația se schimbă în teoria generală a relativității, în care spațiu-timpul nu e plat, ci curbat și distorsionat de materie și energie. În sistemul nostru solar curbura spațiu-timpului e atît de slabă, încît, cel puțin la scară macroscopică, nu modifică noțiunea noastră curentă de timp, deci putem încă folosi acest timp în ecuația Schrödinger pentru a afla evoluția deterministă a funcției de undă. O dată ce am acceptat însă că spațiu-timpul e curbat, există posibilitatea de a avea o structură incompatibilă cu un timp care curge lin pentru orice observa-

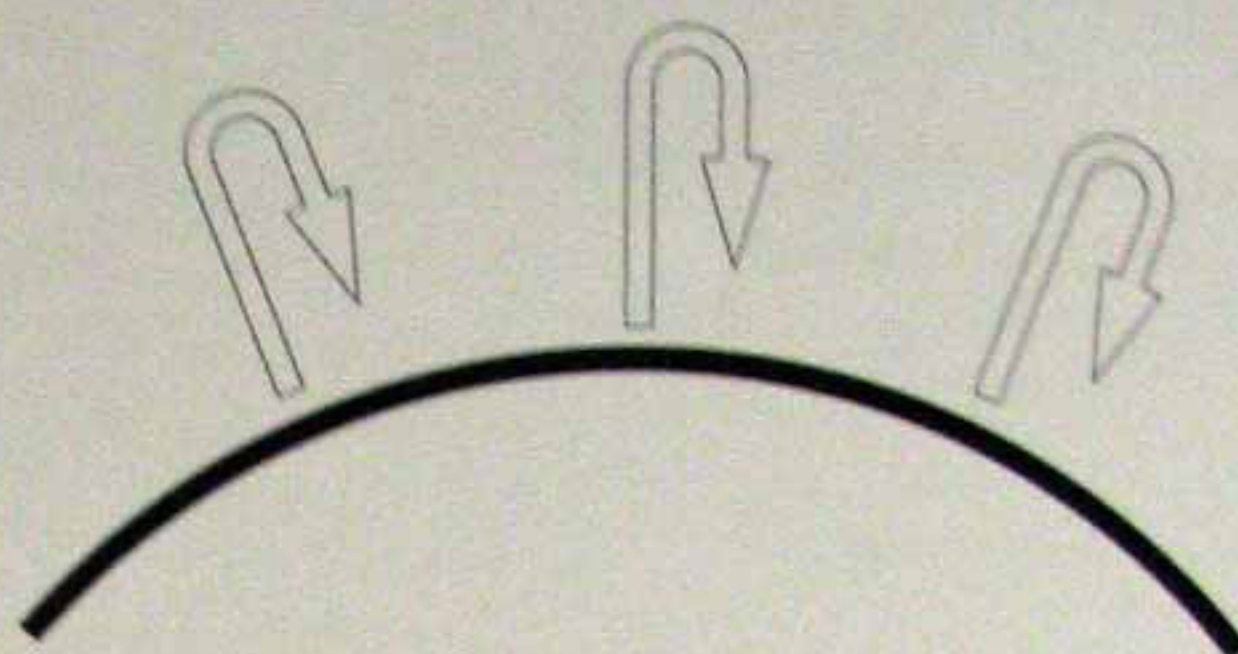
(Fig. 4.7) TIMPUL SE OPREȘTE

O măsură a timpului trebuie neapărat să aibă puncte de stagnare acolo unde toarta se unește cu cilindrul: puncte în care timpul se oprește. În aceste puncte, timpul nu va crește în nici o direcție. Prin urmare, nu poate fi folosit în ecuația Schrödinger pentru a prezice cum va arăta funcția de undă în viitor.





Lumină evadînd  
de la o stea



Lumina prinsă în  
capcana unei ste-  
le masive

Fig. 4.9

Fig. 4.8



tor, așa cum ne-am aștepta pentru o măsură rezonabilă a timpului. De exemplu, să presupunem că spațiu-timpul ar fi un cilindru vertical (Fig. 4.7).

Înălțimea cilindrului ar fi o măsură a timpului care crește pentru orice observator și curge de la minus infinit la plus infinit. Închipuiți-vă că în locul acestui spațiu-timp am avea un fel de cilindru cu toartă (sau o „gaură de vierme”) care va ramifica spațiu-timpul și-l va reuni apoi. Atunci orice măsură a timpului ar avea în mod necesar puncte de stagnare acolo unde toarta se unește cu cilindrul: puncte unde timpul se oprește. În aceste puncte timpul nu va crește pentru nici un observator. Într-un asemenea spațiu-timp nu am putea folosi ecuația Schrödinger pentru a obține o evoluție deterministă a funcției de undă. Atenție la găurile de vierme: nu știi niciodată ce apare de acolo.

Găurile negre sînt motivul care ne face să credem că timpul nu va crește pentru toți observatorii. Prima discuție despre găurile negre a avut loc în 1783. Un fost profesor de la Cambridge, Jon Michell, a prezentat următorul raționament. Dacă lansăm o particulă, de exemplu o ghiulea de tun, vertical în sus, ascensiunea ei va fi încetinită de gravitație, iar în cele din urmă oprită, și va cădea (Fig. 4.8). Dacă însă viteza sa inițială





## GAURĂ NEAGRĂ SCHWARZSCHILD

În 1916, astronomul german Karl Schwarzschild a găsit o soluție în cadrul teoriei relativității a lui Einstein, care reprezintă o gaură neagră sferică. Lucrarea lui Schwarzschild a dezvăluit o consecință uimitoare a relativității generale. El a arătat că, dacă masa unei stele e concentrată într-o regiune suficient de mică, câmpul gravitațional la suprafața stelei devine atât de puternic, încât nici măcar lumina nu mai poate scăpa de acolo. Ceea ce numim gaură neagră e o regiune din spațiu-timp mărginită de un așa-numit orizont, de unde nimic, nici măcar lumina, nu mai poate ajunge la un observator aflat la distanță.

Timp îndelungat, fizicienii, între care și Einstein, au fost sceptici în privința existenței în universul

real a unei asemenea configurații extreme a materiei. Acum însă înțelegem că o stea nerolitoare suficient de mare, oricât de complicată i-ar fi forma și structura internă, când își epuizează combustibilul nuclear colapsează cu necesitate într-o gaură neagră Schwarzschild perfect sferică. Raza (**R**) a orizontului unei găuri negre depinde doar de masă și e dată de formula:

$$R = 2GM/c^2$$

În această formulă, (**c**) reprezintă viteza luminii, (**G**) constanta lui Newton, iar (**M**) masa găurii negre. O gaură neagră de masa Soarelui ar avea raza de doar două mile!

lă e mai mare decât o valoare critică numită viteză de desprindere, gravitația nu va fi suficient de puternică pentru a opri proiectilul, iar el va continua să se îndepărteze. Viteza de desprindere e aproximativ 12 km/secundă pe Pământ și 618 km/secundă pe Soare.

Ambele viteze de desprindere sînt mult mai mari decât viteza unei ghiulele de tun reale, dar sînt mici în comparație cu viteza luminii, care e de 300 000 kilometri pe secundă. Astfel, lumina poate părăsi Pământul sau Soarele fără mare greutate. Michell a susținut că ar putea exista stele mai masive decât Soarele pentru care vitezele de desprindere să fie mai mari decât viteza luminii (Fig. 4.9). Nici măcar n-am putea vedea aceste stele, fiindcă lumina emisă de ele ar fi atrasă înapoi de gravitația lor. Acestea ar fi ceea ce Michell numea stele întunecate, pe care le numim acum găuri negre.

Ideea lui Michell de stea întunecată se baza pe fizica newtoniană, în care timpul era absolut și se scurgea indiferent ce se întîmpla. Ea nu afecta deci capacitatea noastră de a prezice viitorul în cadrul clasic, newtonian. Situația s-a schimbat însă radical în teoria generală a relativității, în care corpurile masive curbează spațiu-timpul.







(Fig. 4.10)

Cuasarul 3C273, prima sursă radio cuasi-stelară care a fost descoperită, produce o putere mare într-o regiune mică. Materia care cade într-o gaură neagră pare să fie singurul mecanism ce poate explica această intensă luminozitate.



#### JOHN WHEELER

John Archibald Wheeler s-a născut în 1911 la Jacksonville, Florida. Și-a susținut doctoratul la Universitatea Johns Hopkins, în 1933, cu o lucrare despre împrăștierea luminii pe atomul de heliu. În 1938 a lucrat cu fizicianul danez Niels Bohr la dezvoltarea teoriei fisiunii nucleare. Puțin după aceea, John Wheeler împreună cu doctorandul său Richard Feynman s-au concentrat asupra studiului electrodinamicii; la scurt timp însă, America a intrat în al doilea război mondial și amândoi au contribuit la Proiectul Manhattan.

La începutul anilor '50, inspirat de o lucrare din 1939 a lui Robert Oppenheimer despre colapsul gravitațional al unei stele masive, Wheeler și-a îndreptat atenția asupra teoriei generale a relativității

a lui Einstein. În acel moment, cei mai mulți fizicieni se ocupau de fizică nucleară, iar teoria generală a relativității era considerată irelevantă pentru lumea fizicii. Dar, aproape de unul singur, Wheeler a transformat domeniul, atât prin lucrările sale, cât și prin primul curs de relativitate care s-a ținut la Princeton.

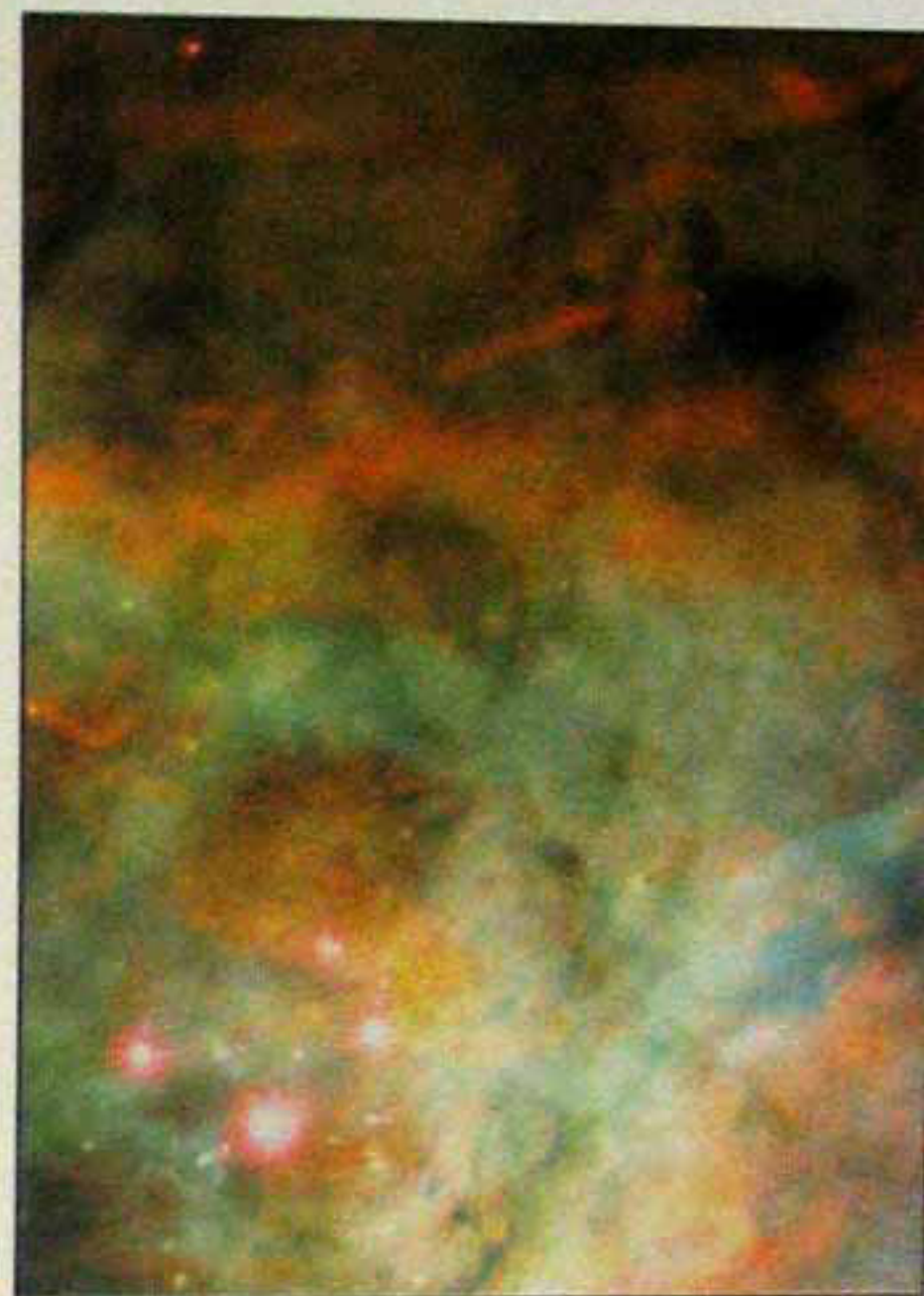
Mult mai târziu, în 1969, el a creat termenul de *gaură neagră* pentru a denumi starea de materie colapsată, în realitatea căreia puțini credeau. Inspirat de o lucrare a lui Werner Israel, el a presupus că găurile negre nu au semne particulare (nu au păr) care să le diferențieze, ceea ce înseamnă că starea colapsată a oricărei stele nerotitoare masive ar putea fi descrisă de soluția Schwarzschild.



În 1916, la puțin timp după formularea teoriei, Karl Schwarzschild (care a murit curînd după aceea în urma unei boli contractate pe frontul rusesc în primul război mondial) a găsit o soluție a ecuațiilor de câmp din teoria generală a relativității care reprezenta o gaură neagră. Ceea ce a găsit Schwarzschild nu a fost bine înțeles, iar importanța descoperirii n-a fost recunoscută decît mulți ani mai tîrziu. Einstein însuși nu a crezut niciodată în găurile negre, iar atitudinea lui a fost împărtășită de cei mai mulți din vechea gardă a relativității generale. Îmi amintesc că am fost la Paris să țin un seminar despre descoperirea mea — conform teoriei cuantice, găurile negre nu sînt absolut negre. Seminarul a fost plictisitor fiindcă, la vremea aceea, aproape nimeni la Paris nu credea în găurile negre. Francezii își mai închipuiau și că numele, așa cum îl traduceau ei, *trou noir*, ascunde conotații sexuale dubioase și ar trebui înlocuit cu *astre occlu* sau „stea ascunsă”. Totuși, nici unul dintre numele sugerate nu a captat imaginația publicului precum termenul de *gaură neagră*, introdus de John Archibald Wheeler, fizicianul american care a stat la baza multor lucrări moderne din domeniu.

Descoperirea cuasarilor în 1963 a dus la o explozie a lucrărilor teoretice asupra găurilor negre și a încercărilor experimentale de a le detecta (Fig. 4.10). Iată imaginea care a rezultat. Să considerăm ceea ce credem a fi istoria unei stele cu masa de douăzeci de ori mai mare decît a Soarelui. Asemenea stele se formează din nori de gaze, ca acela din Nebuloasa Orion (Fig. 4.11). Pe măsură ce norii de gaze se contractă sub propria lor gravitație, gazele se încălzesc și devin în cele din urmă suficient de fierbinți pentru a iniția o reacție nucleară de fuziune care transformă hidrogenul în heliu. Căldura generată de acest proces creează o presiune ce menține steaua împotriva propriei gravitații și îi oprește contracția. O stea poate rămîne în această stare timp îndelungat, arzînd hidrogen și radiînd lumină în spațiu.

Cîmpul gravitațional al stelei va afecta traiectoria razelor de lumină ce vin de la ea. Putem desena o diagramă, cu timpul pe axa verticală și distanța de la centrul stelei pe orizontală (vezi Fig. 4.12, pag. 114). În această diagramă suprafața stelei e reprezentată prin două linii verticale, de o parte și de alta a



(Fig. 4.11)

Stele formate din nori de gaz și praf, ca în Nebuloasa Orion.



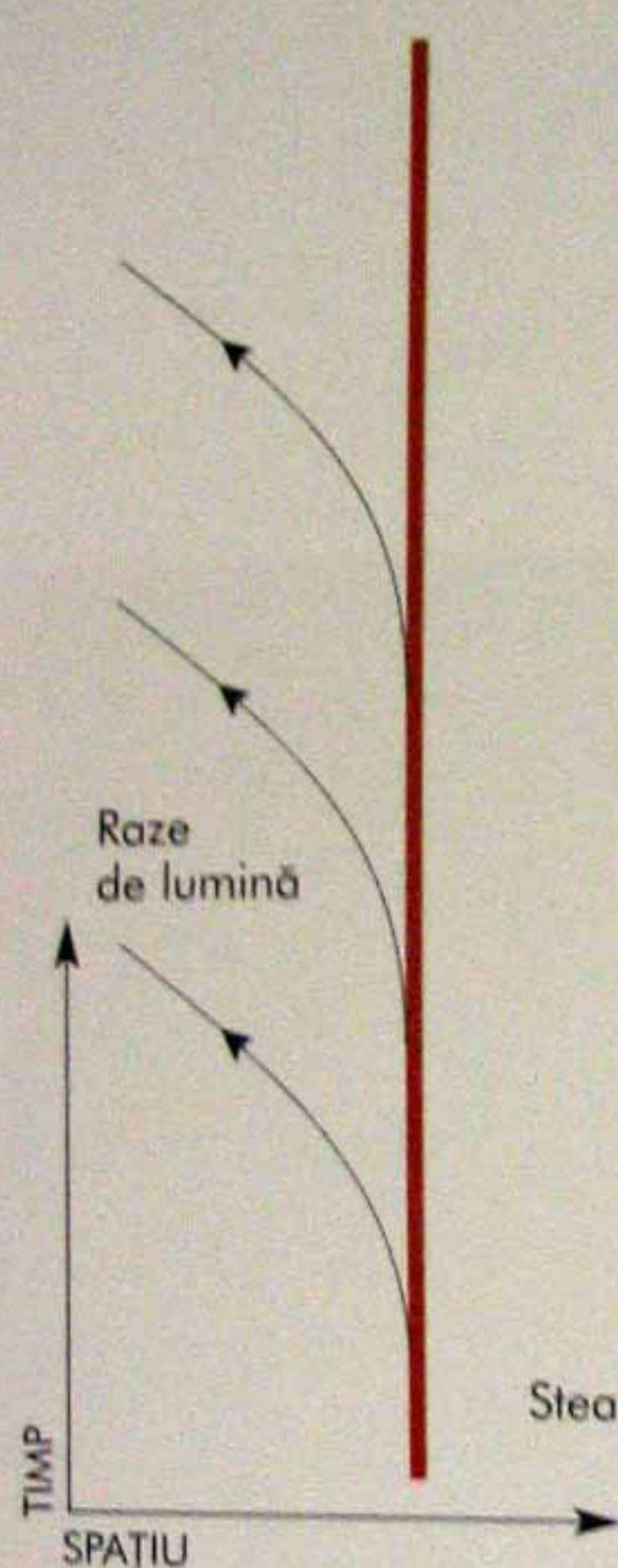


Fig. 4.12

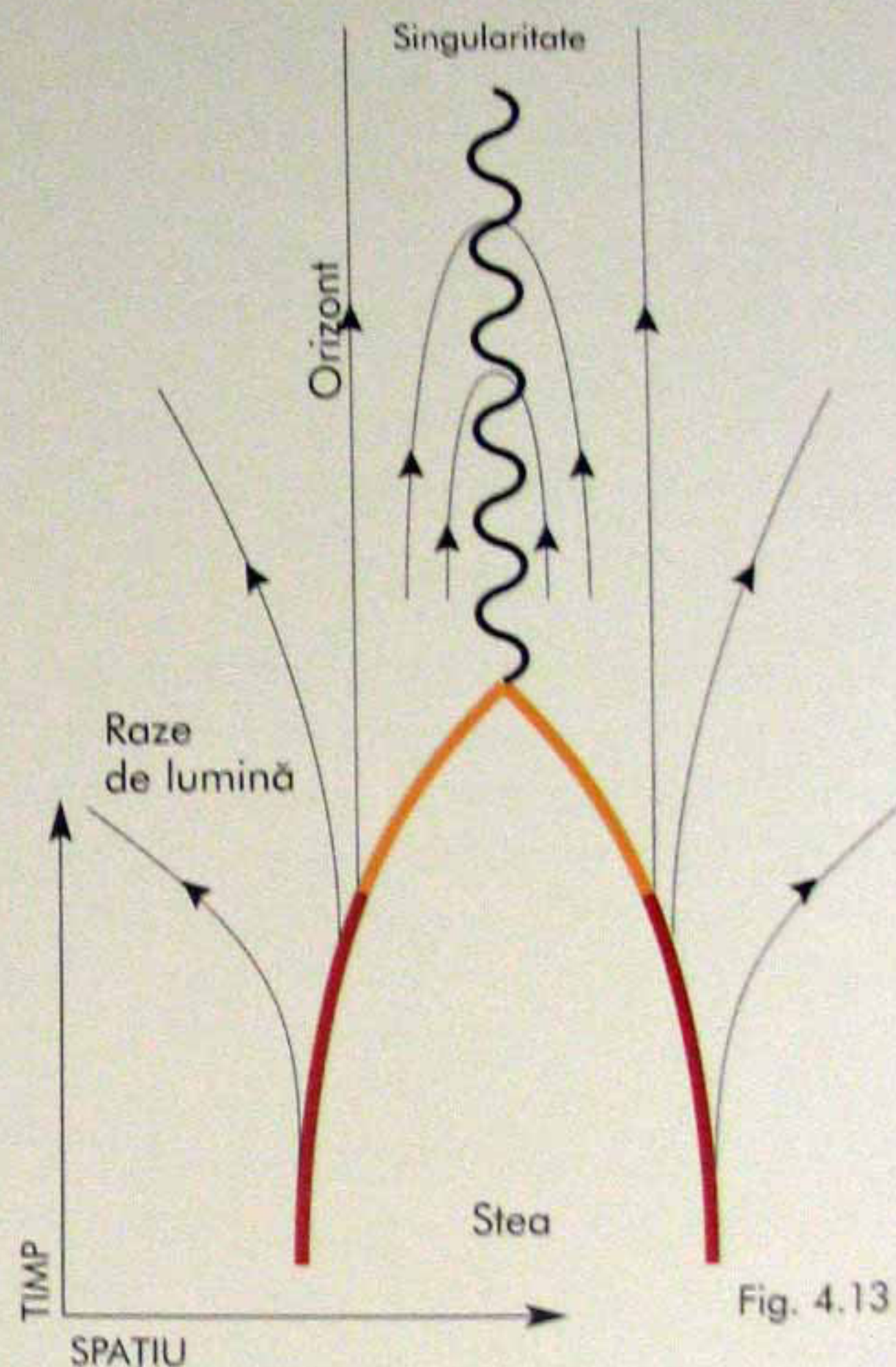


Fig. 4.13

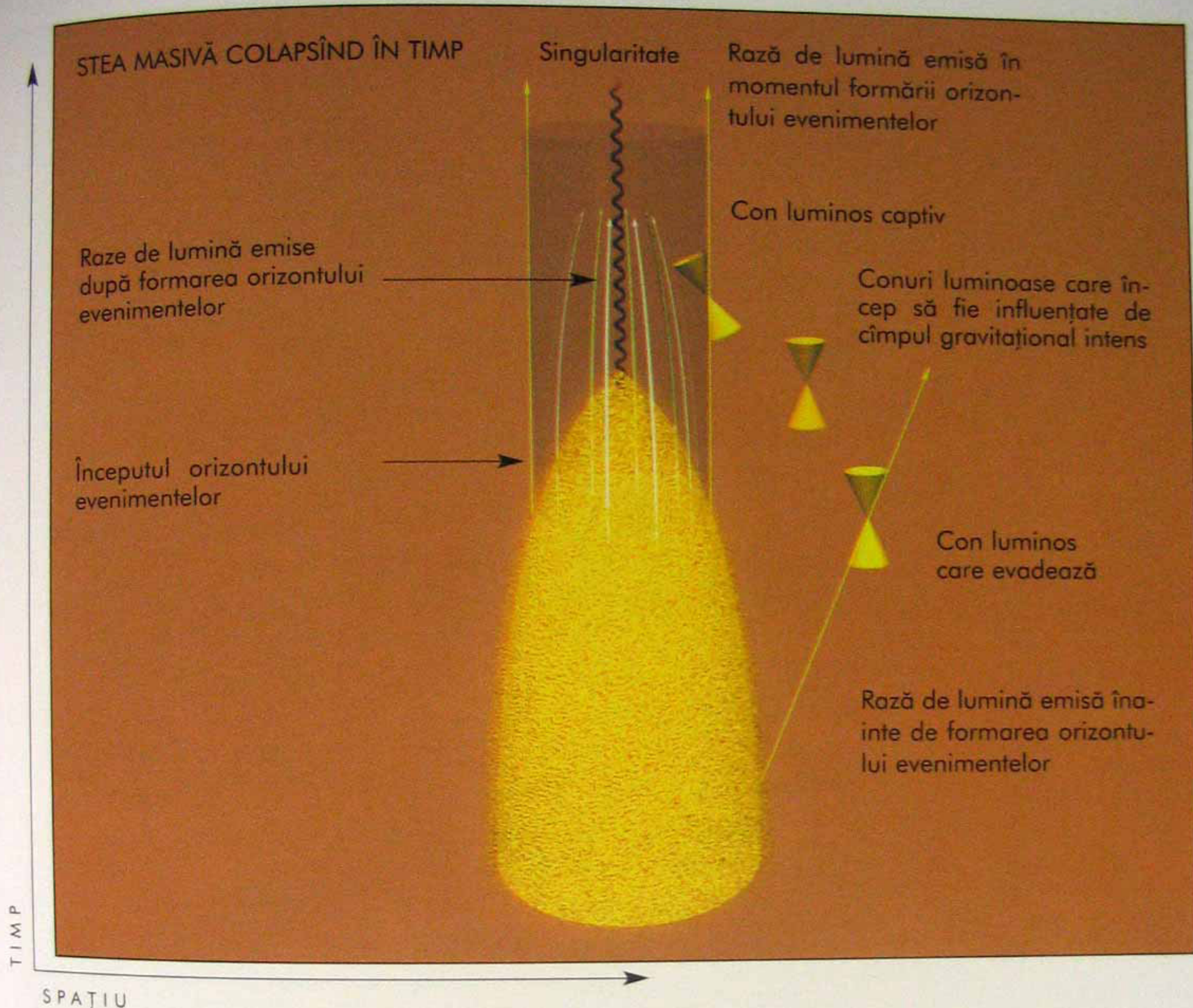
(Fig. 4.12) Spațiu-timpul în jurul unei stele ce nu colapsează. Razele de lumină pot ieși de pe suprafața stelei (linia roșie verticală). Departe de stea, razele sînt la 45 de grade față de verticală, dar lîngă stea curbarea spațiu-timpului de către masă face ca razele de lumină să fie la unghiuri mai mici față de verticală.

(Fig. 4.13) Dacă steaua colapsează (liniile roșii se întîlnesc într-un punct), curbura spațiu-timpului devine atît de mare, încît razele de lumină din preajma suprafeței se mișcă spre interior. Se formează o gaură neagră, o regiune în spațiu-timp de unde lumina nu poate ieși.

centrului. Putem alege să măsurăm timpul în secunde, iar distanța în secunde-lumină — distanța pe care o parcurge lumina într-o secundă. Folosind aceste unități, viteza luminii este 1, adică o secundă-lumină pe secundă. Departe de stea și de cîmpul ei gravitațional, traiectoria unei raze de lumină e, prin urmare, o linie la un unghi de 45 de grade față de verticală. În apropierea stelei însă, curbura spațiu-timpului produsă de masa stelei va modifica traiectoriile razelor de lumină și le va înclina la un unghi mai mic față de verticală.

Stelele masive își vor arde hidrogenul transformîndu-l în heliu mult mai repede decît o face Soarele. Aceasta înseamnă că ele își vor consuma hidrogenul în doar cîteva sute de milioane de ani. Apoi, asemenea stele vor fi confruntate cu o cri-

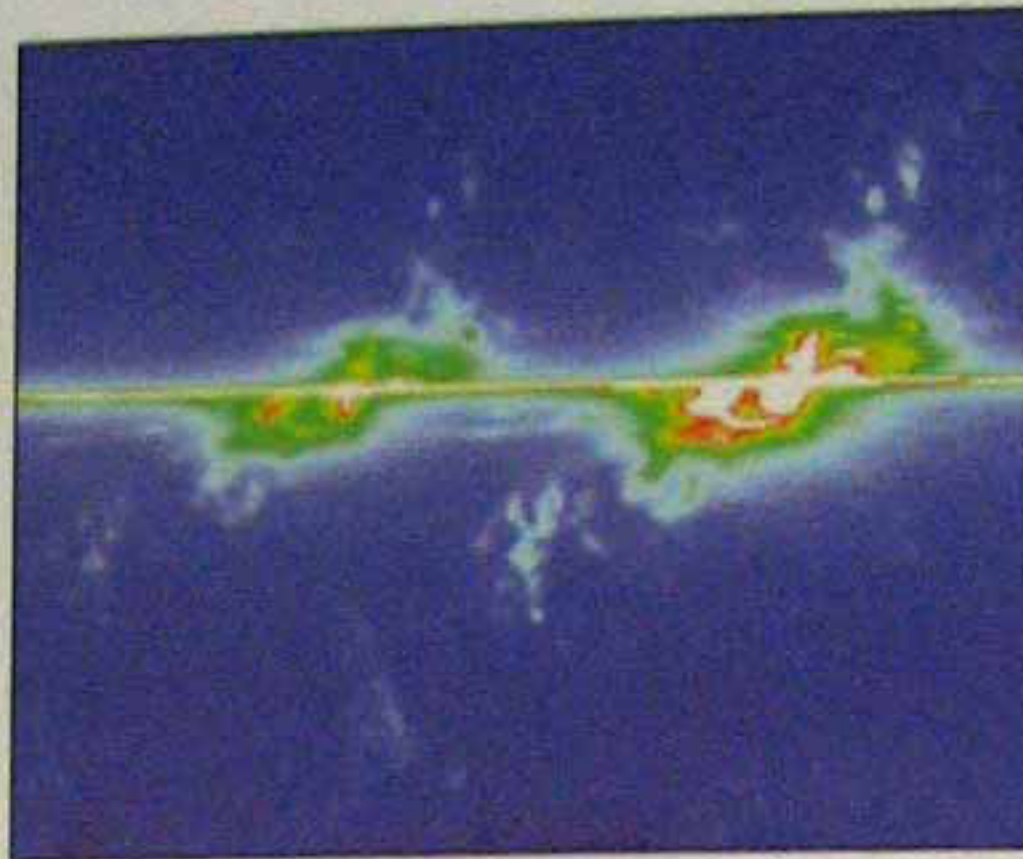




ză. Vor putea arde heliul formînd elemente mai grele, precum carbonul și oxigenul, dar aceste reacții nucleare nu eliberează prea multă căldură, așa că stelele vor pierde căldură, iar presiunea termică ce se opunea gravitației va scădea. Prin urmare, ele vor deveni mai mici. Dacă au mai mult decît dublul masei solare, presiunea termică nu va fi suficientă pentru a le opri contractarea. Ele vor colapsa către dimensiune zero și densitate infinită, pentru a forma ceea ce numim o singularitate (Fig. 4.13). În diagrama avînd pe axe timpul și distanța de la centru, pe măsură ce steaua se contractă, traiectoriile razelor de lumină de pe suprafață vor porni la unghiuri din ce în ce mai mici față de verticală. Cînd steaua atinge o anumită rază critică, traiectoria va fi verticală pe diagramă, ceea ce înseamnă că lumina va plana la o distanță constantă

Orizontul, frontiera exterioară a unei găuri negre, este format de razele de lumină care sînt pe punctul de a scăpa din gaura neagră, dar planează la o distanță constantă față de centru.





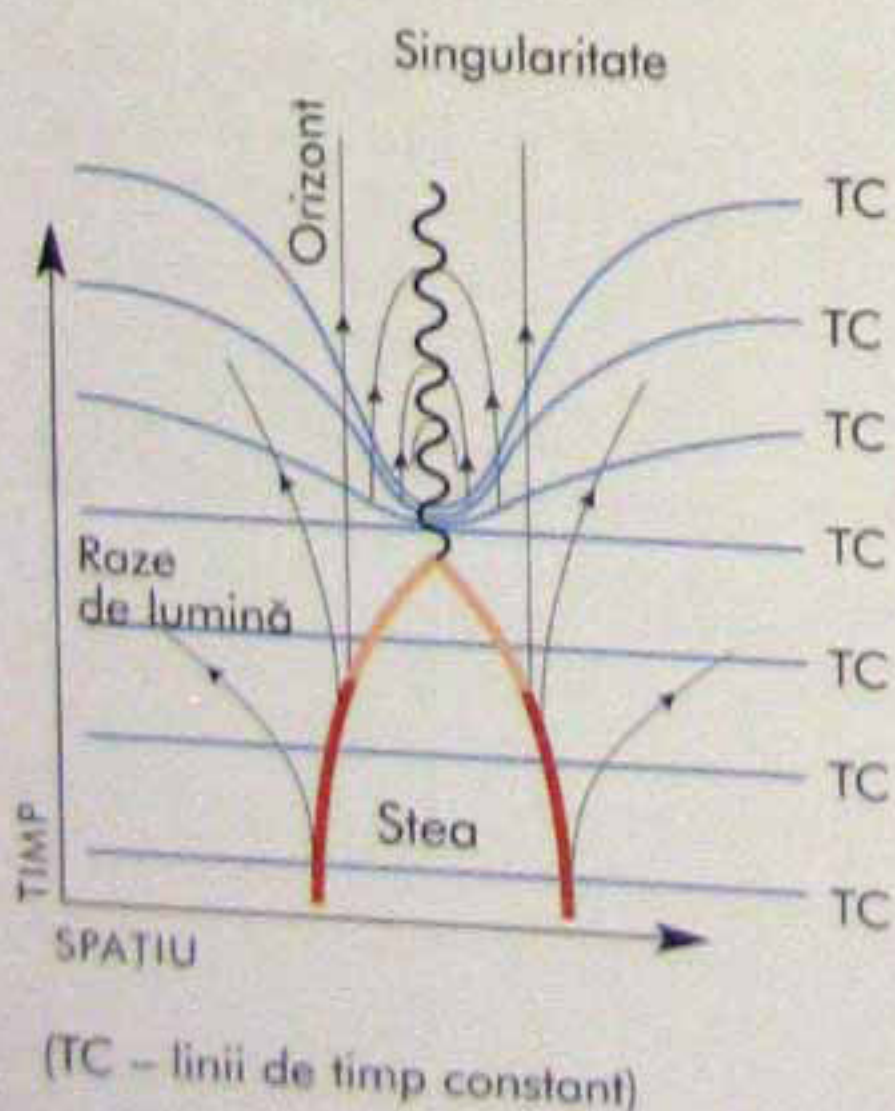
(Fig. 4.15) GAURĂ NEAGRĂ ÎN CENTRUL UNEI GALAXII

*Stînga:* Galaxia NGC 4151 văzută de un obiectiv cu deschidere mare.

*Centru:* Linia orizontală ce trece prin mijlocul imaginii reprezintă lumina generată de o gaură neagră din centrul galaxiei NGC 4151.

*Dreapta:* Imaginea prezintă viteza emisiei de oxigen. Toate dovezile conduc spre concluzia că NGC 4151 conține o gaură neagră cu masă de o sută de milioane de ori mai mare decât masa Soarelui.

(Fig. 4.14)



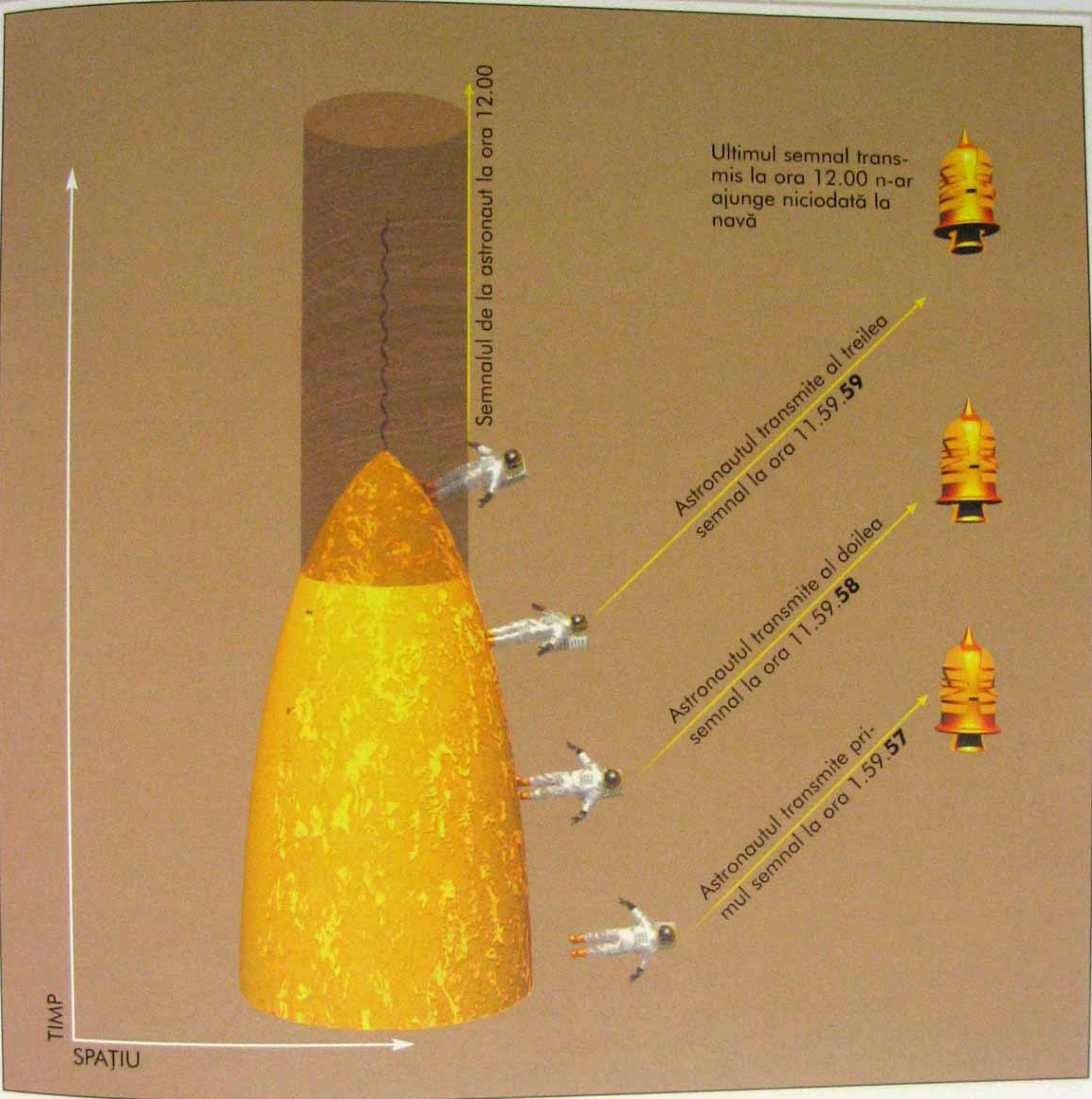
față de centrul stelei, fără să părăsească zona. Traectoria critică a razei de lumină va mătura o suprafață numită orizont, care separă regiunea din spațiu-timp de unde lumina poate ieși, de cea de unde nu poate ieși. Orice lumină emisă de stea după ce trece linia orizontului va fi atrasă înapoi de curbura spațiu-timpului. Steaua va deveni una din stelele întunecate ale lui Michell sau, cum spunem azi, o gaură neagră.

Cum poate fi detectată o gaură neagră, dacă nici o rază de lumină nu poate ieși de acolo? Răspunsul e că o gaură neagră continuă să exercite aceeași atracție gravitațională asupra obiectelor din jur ca steaua dinainte de a colapsa. Dacă Soarele ar fi o gaură neagră și ar reuși să nu piardă masă, planetele s-ar roti mai departe pe orbite în jurul său.

Putem găsi o gaură neagră căutînd materie care orbitează în jurul unui obiect masiv, nevăzut. Au fost observate cîteva astfel de sisteme. Poate că cele mai impresionante sînt găurile negre gigantice din centrul galaxiilor și cuasarilor (Fig. 4.15).

Proprietățile găurilor negre menționate pînă acum nu pun probleme serioase în raport cu determinismul. Timpul va ajunge la capăt pentru un astronaut care ar cădea într-o gaură neagră și ar atinge singularitatea. În relativitatea generală ești însă liber să măsoari timpul, în locuri diferite, cu ritmuri diferite. Am putea, de exemplu, accelera ritmul ceasului astronautului pe măsură ce se apropie de singularitate, astfel încît să înregistreze intervale infinite de timp. Pe diagrama timp-distanță (Fig. 4.14), suprafețele de valori constante ale acestui nou timp se vor îngheși întotdeauna în centru, sub punctul unde apare singularitatea. Vor fi însă în acord cu măsura obișnuită a timpului în spațiul aproape plat, departe de gaura neagră.

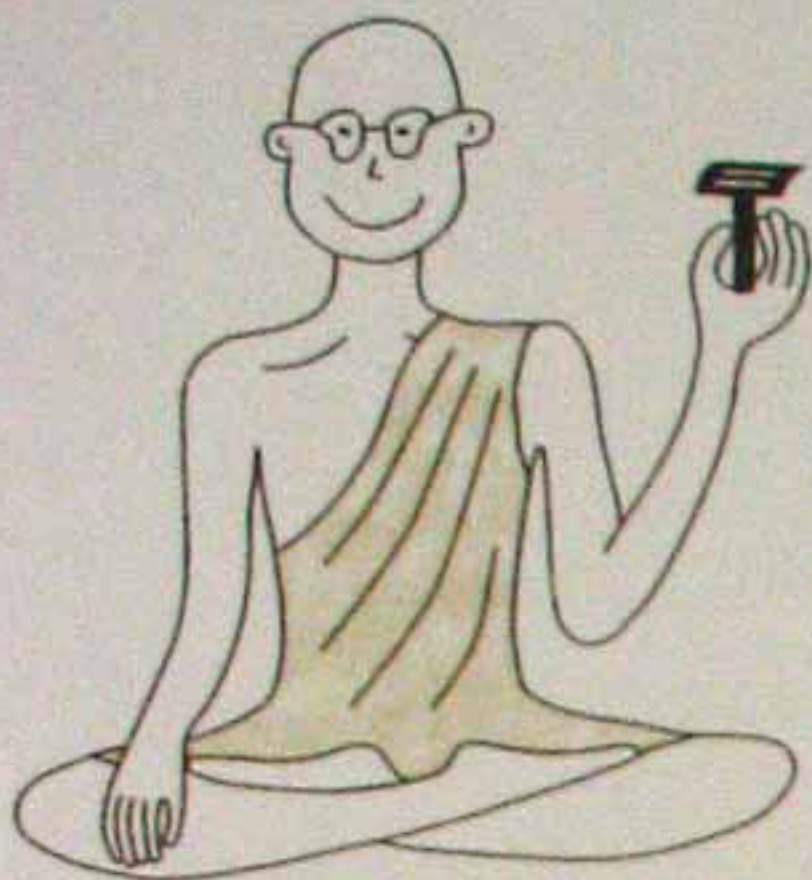




Desenul de mai sus reprezintă un astronaut care aterizează pe o stea colapsată la ora 11.59.57 și înfilnește steaua ce se contractă sub raza critică, unde gravitația este atât de puternică, încât nici un semnal nu poate ieși. La intervale regulate, el trimite semnale de pe ceasul său către o navă spațială ce orbitează în jurul stelei.

Cineva care ar privi steaua de la distanță nu ar vedea niciodată semnalul trecând linia orizontului și intrând în gaura neagră. În schimb, ar vedea steaua planând cu puțin în afara razei critice, iar ceasul de pe suprafața stelei va părea că merge din ce în ce mai încet și se oprește.





„O gaură neagră nu are păr.”

#### TEMPERATURA GĂURII NEGRE

O gaură neagră emite radiații ca un corp fierbinte avînd o temperatură (**T**) care depinde doar de masă. Mai precis, temperatura unui corp negru e dată de următoarea formulă:

$$T = \frac{\hbar c^3}{8\pi k G M}$$

În această formulă, (**c**) reprezintă viteza luminii, (**ħ**) constanta lui Planck, (**G**) constanta gravitațională a lui Newton și (**k**) constanta lui Boltzmann.

În fine, (**M**) reprezintă masa găurii negre, astfel încît cu cît e mai mică gaura neagră, cu atît temperatura ei e mai mare. Această formulă ne spune că o gaură neagră de cîteva mase solare are temperatura de o milionime de grad deasupra lui zero absolut.

Se poate folosi acest timp în ecuația Schrödinger pentru a calcula funcția de undă la timpi ulteriori, dacă o cunoaștem pe cea inițială. Determinismul rămîne valabil. Trebuie însă observat că, la momente ulterioare de timp, o parte din funcția de undă se află în interiorul găurii negre, unde nu poate fi observată de cineva din afară. Astfel, un observator care are atîta minte încît să nu cadă într-o gaură neagră nu poate folosi ecuația Schrödinger în sens invers în timp, pentru a afla care a fost funcția de undă la momente anterioare. Pentru asta, el ar trebui să cunoască acea parte a funcției de undă care se află înăuntrul găurii negre. Ea conține informația despre ce a căzut în interior. S-ar putea afla acolo o cantitate foarte mare de informație, deoarece o gaură neagră cu masă și viteză de rotație date se poate forma dintr-un număr foarte mare de ansambluri diferite de particule; o gaură neagră nu depinde de natura corpului care a colapsat pentru a-l forma. John Wheeler sintetiza acest rezultat spunînd că „o gaură neagră nu are păr”. Francezii au găsit aici confirmarea bănuielilor lor.

Dificultatea legată de determinism a apărut cînd am descoperit că găurile negre nu sînt complet negre. Așa cum am arătat în capitolul 2, teoria cuantică spune că un cîmp nu poate fi exact nul nici măcar în ceea ce numim vid. Dacă ar fi zero, ar însemna că ar avea o valoare exactă atît pentru poziție, zero, cît și pentru viteză, tot zero. Aceasta ar viola principiul de incertitudine, care spune că poziția și viteza nu pot fi simultan bine definite. Toate cîmpurile trebuie să aibă o anumită cantitate din ceea ce numim fluctuații ale vidului (la fel cum pendulul din capitolul 2 trebuia să aibă fluctuații de punct zero). Fluctuațiile vidului pot fi interpretate în mai multe feluri ce par diferite, dar sînt de fapt matematic echivalente. Din perspectivă pozitivistă, sîntem liberi să folosim reprezentarea care ni se pare cea mai utilă pentru problema în discuție. În acest caz, e util să privim fluctuațiile vidului ca perechi de particule virtuale ce apar împreună într-un punct din spațiu-timp, se mișcă separat, se ciocnesc și se anihilează reciproc. „Virtual” înseamnă că aceste particule nu pot fi observate direct, dar efectele lor indirecte pot fi măsurate și sînt în remarcabil acord cu predicțiile teoriei (Fig. 4.16).

Dacă o gaură neagră e prezentă, unul din membrii perechii de particule poate cădea în ea, lăsîndu-l pe celălalt să se îndepărteze la infinit (Fig. 4.17). Pentru cineva aflat departe de gaura neagră, particula liberă pare că a fost emisă de gaura

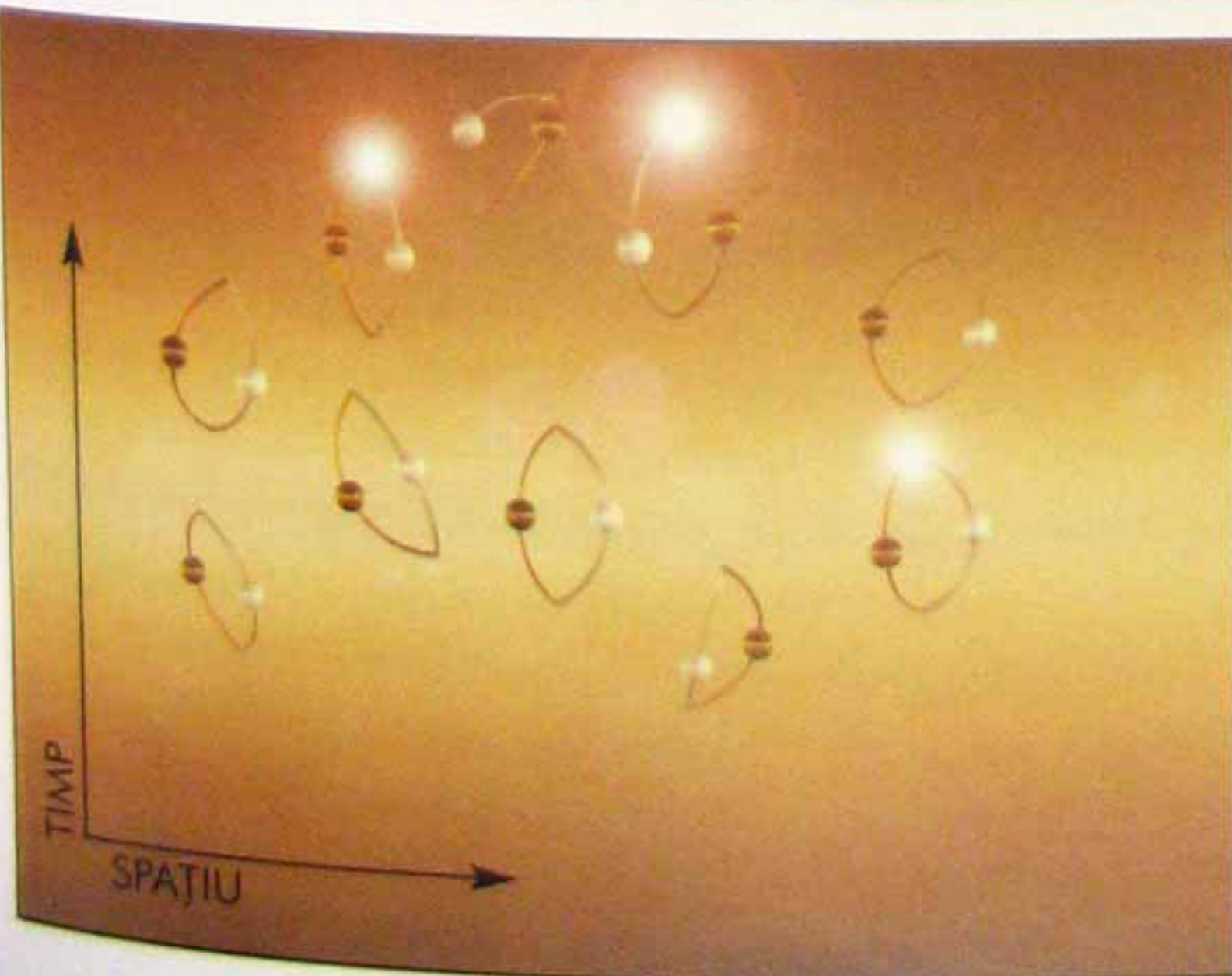




(Fig. 4.17)

*Sus:* Particule virtuale apărînd și anihilîndu-se reciproc, în apropierea orizontului unei găuri negre.

Una din particulele perechii cade în gaura neagră, în timp ce geamăna ei scapă. Din afara orizontului apare ca și cum gaura neagră ar fi emis particula care a scăpat.

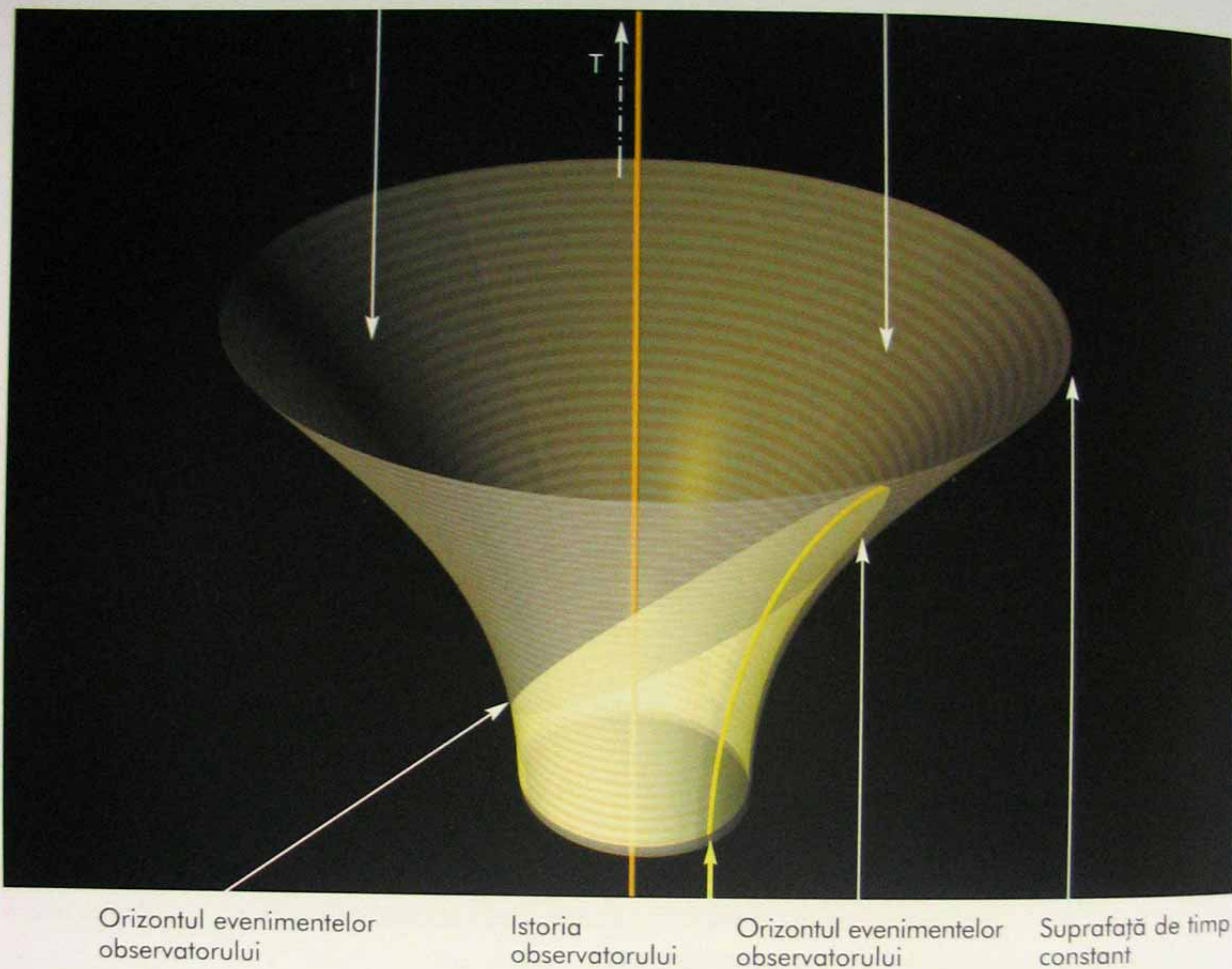


(Fig. 4.16)

*Stînga:* În spațiul gol apar perechi de particule, au o scurtă existență, iar apoi se anihilează reciproc.



## Evenimente care nu vor fi niciodată văzute de observator



(Fig. 4.18)

Soluția de Sitter a ecuațiilor de câmp ale teoriei generale a relativității reprezintă un univers ce se extinde inflaționist. În diagramă timpul e reprezentat în sus, iar dimensiunea universului pe direcția orizontală. Distanțele spațiale cresc atât de rapid, încât lumina de la galaxiile îndepărtate nu poate ajunge niciodată la noi, și există un orizont al evenimentelor, o frontieră a regiunii pe care n-o putem observa, la fel ca pentru o gaură neagră.

neagră. Spectrul unei găuri negre e exact cel la care ne-am aștepta de la un corp fierbinte, cu o temperatură proporțională cu câmpul gravitațional la orizontul — frontiera — găurii negre. Cu alte cuvinte, temperatura unei găuri negre depinde de mărimea sa.

O gaură neagră de câteva mase solare ar avea o temperatură de aproximativ o milionime de grad deasupra lui zero absolut, iar o gaură neagră mai mare ar avea o temperatură încă și mai mică. Astfel, orice radiație cuantică de la o asemenea gaură neagră ar fi complet înecată în radiația de 2,7 grade provenind de la marea explozie — radiația cosmică de fond despre care am vorbit în capitolul 2. Ar fi posibil să detectăm



radiația de la găuri negre mult mai mici și fierbinți, dar se pare că nu prea există prin preajmă. Păcat. Dacă s-ar descoperi, aş primi Premiul Nobel. Totuși, avem dovezi experimentale indirecte ale existenței acestei radiații, dovezi provenind din universul timpuriu. Cum am scris în capitolul 3, se crede că, foarte timpuriu în istoria sa, universul a traversat o perioadă inflaționistă, în timpul căreia s-a extins cu o viteză din ce în ce mai mare. Expansiunea din această perioadă trebuie să fi fost atât de rapidă, încât unele obiecte se află prea departe pentru ca lumina lor să mai ajungă vreodată la noi; universul trebuie să se fi dilatat prea mult și prea repede în vreme ce lumina călătorea spre noi. Ar exista astfel în univers un orizont, la fel ca orizontul unei găuri negre, separînd regiunea din care lumina poate ajunge la noi, de cea din care lumina nu mai poate ajunge (Fig. 4.18).

Argumente foarte asemănătoare arată că ar trebui să existe o radiație termică provenind de la acest orizont, ca în cazul orizontului unei găuri negre. În radiația termică ne așteptăm să găsim un spectru caracteristic al fluctuațiilor densității. Fluctuațiile densității trebuie să se fi extins deci o dată cu universul. Cînd scara întinderii lor a devenit mai mare decît dimensiunea orizontului evenimentelor, ele trebuie să fi înghețat înăuntru, astfel încît astăzi să le observăm ca mici variații în temperatura radiației cosmice de fond rămasă din universul timpuriu. Observarea acestor variații e într-un acord remarcabil cu predicțiile privind fluctuațiile termice.

Chiar dacă observațiile asupra radiației găurilor negre sînt oarecum indirecte, toți cei care au studiat problema sînt de acord că radiația trebuie să existe pentru a se obține un acord cu teoriile deja testate. Aceasta are consecințe importante pentru determinism. Radiația de la o gaură neagră va transporta energie, deci gaura neagră va pierde masă și se va micșora. În schimb, temperatura și rata radiației vor crește. În cele din urmă, masa găurii negre scade la zero. Nu știm să calculăm ce se întîmplă în acel punct, dar singura soluție rezonabilă pare să fie dispariția completă a găurii negre. Ce se întîmplă atunci cu acea parte a funcției de undă dinăuntru găurii negre și cu informația pe care o conținea despre ce a căzut în interior? Primul lucru care ne vine în minte e că







(Fig. 4.19)

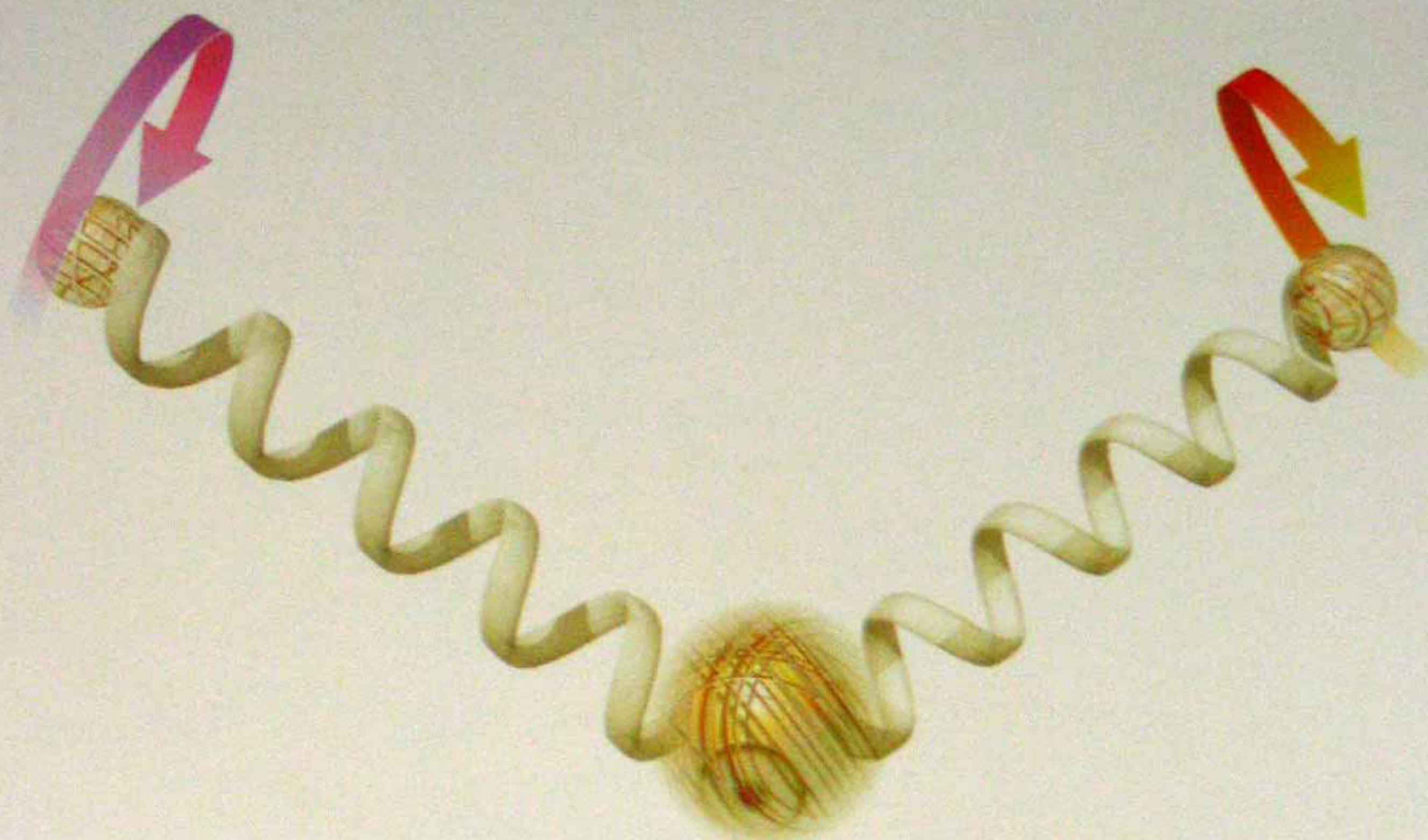
Energia pozitivă transportată de radiația termică de la orizontul ei reduce masa găurii negre. Pe măsură ce pierde masă, temperatura și rata radiației găurii negre cresc, așa încât gaura neagră pierde masă din ce în ce mai rapid. Nu știm ce se întâmplă dacă masa devine extrem de mică, dar cel mai probabil este ca gaura neagră să dispară complet.

funcția de undă și informația pe care o purta reapar o dată cu dispariția găurii negre. Dar informația nu se transportă pe gratis, așa cum ne dăm seama când primim factura telefonică.

Informația necesită energie care s-o transporte, iar în ultimele stadii de viață ale unei găuri negre rămâne foarte puțină energie. Singura cale plauzibilă prin care informația din interior să iasă din gaura neagră ar fi ca ea să iasă continuu, o dată cu radiația, fără a aștepta stadiul final. Însă, conform imaginii în care un membru al perechii de particule virtuale cade, iar celălalt iese, nu ne-am aștepta ca particula care iese să aibă vreo legătură cu ceea ce a căzut în gaura neagră sau să transporte informație despre asta. Astfel, singurul răspuns pare să fie că informația din partea de funcție de undă din gaura neagră se pierde (Fig. 4.19).

Asemenea pierdere de informație ar putea avea consecințe importante pentru determinism. Chiar dacă am cunoaște funcția de undă după ce a dispărut gaura neagră, nu am putea re-





zolvea ecuația Schrödinger înapoi în timp pentru a calcula funcția de undă înainte de formarea găurii negre. Ce a fost depinde în parte de funcția de undă pierdută în gaura neagră. Ne-am obișnuit să credem că putem cunoaște exact trecutul. Dar dacă informația se pierde în găurile negre, nu mai e cu putință. Orice putea să se fi întâmplat.

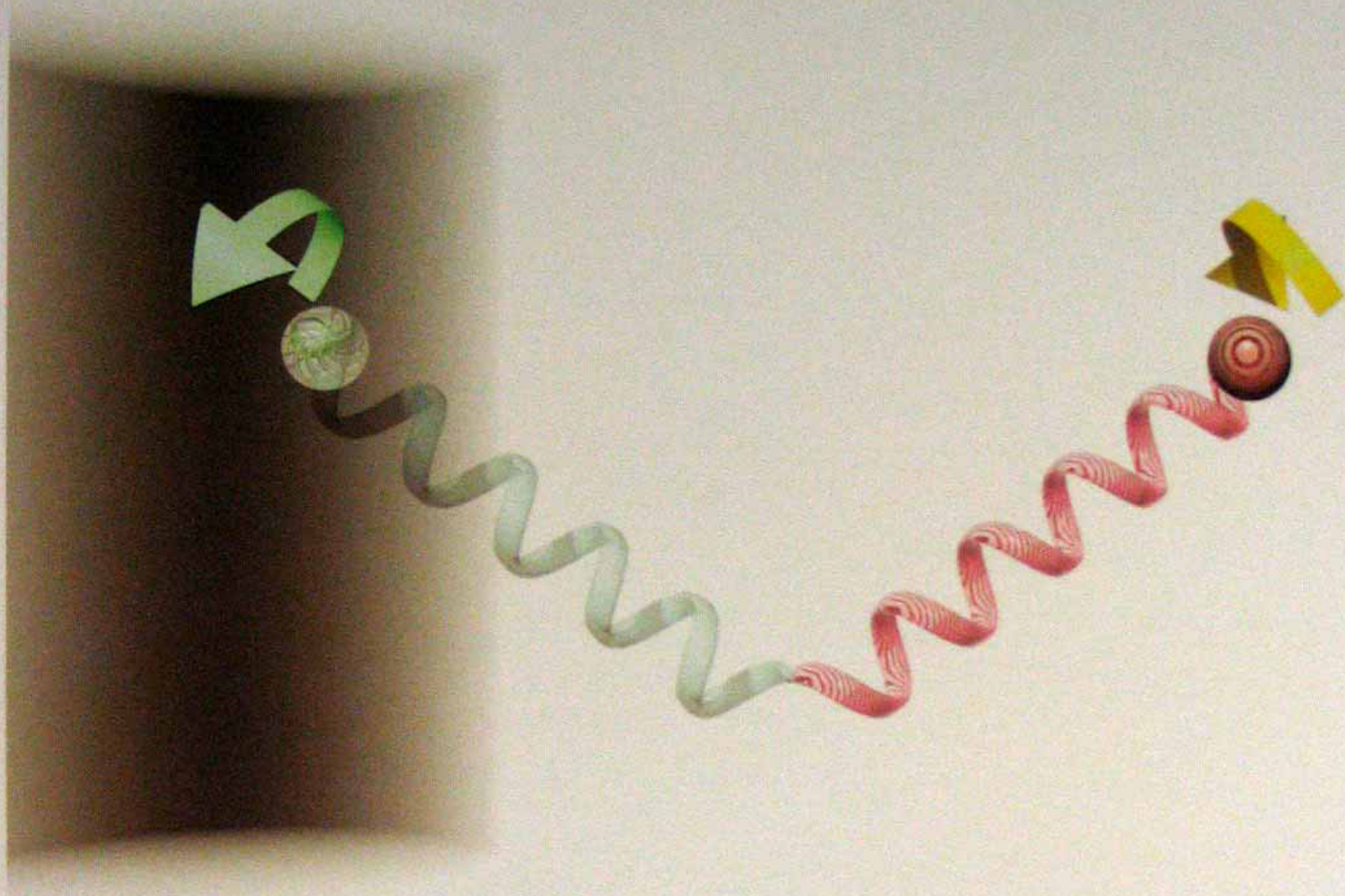
În general însă, astrologii și cei care-i consultă sînt mai interesați de prezicerea viitorului decît de „retrozicerea” trecutului. La prima vedere, s-ar părea că pierderea părții din funcția de undă în gaura neagră nu ne-ar împiedica să prezicem funcția de undă în afara găurii negre. Se dovedește însă că această pierdere influențează predicția, după cum putem vedea din experimentul mental propus de Albert Einstein, Boris Podolsky și Nathan Rosen în anii 1930.

Imaginați-vă că un nucleu radioactiv se dezintegrează și emite două particule în direcții opuse și cu spini de semn opus. Un observator care vede numai una din particule nu va

(Fig. 4.20)

În experimentul mental Einstein-Podolsky-Rosen, observatorul care măsoară spinul unei particule va cunoaște exact spinul celei de-a doua particule.





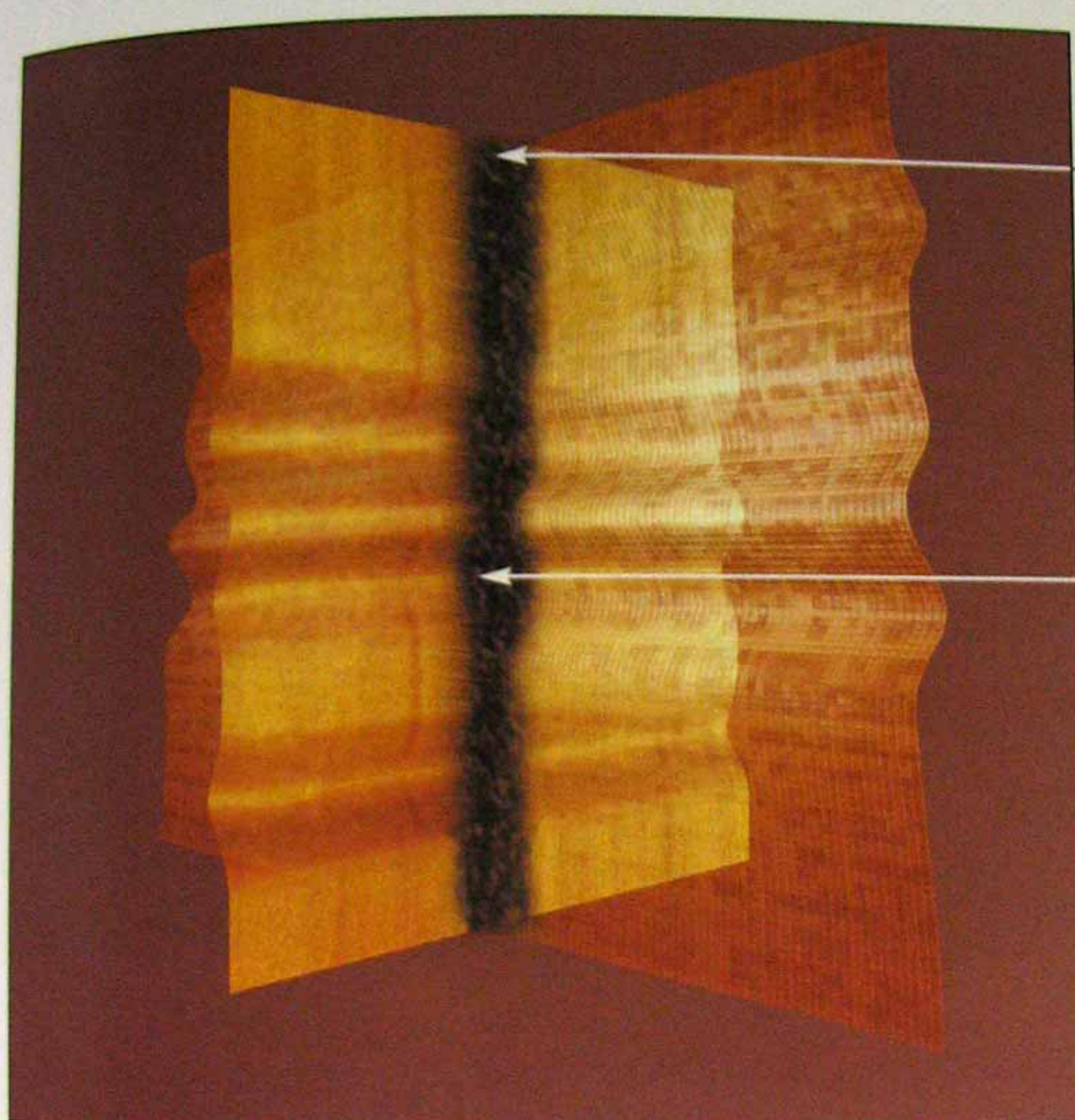
(Fig. 4.21)

O pereche de particule virtuale are o funcție de undă care prezice că cele două particule vor avea spini opuși. Dar dacă una dintre particule cade într-o gaură neagră, este imposibil să prezicem cu certitudine spinul particulei rămase.

putea spune nimic despre spinul celeilalte. Dar dacă observatorul măsoară spinul particulei, atunci va putea prezice cu certitudine spinul celeilalte particule (Fig. 4.20). Einstein credea că aceasta ar dovedi că teoria cuantică e ridicolă: cealaltă particulă s-ar putea afla deja la capătul opus al galaxiei, iar noi i-am cunoaște instantaneu spinul. Cei mai mulți oameni de știință cred însă că Einstein s-a încurcat aici, nu teoria cuantică. Experimentul mintal Einstein-Podolsky-Rosen nu arată că s-ar putea transmite informație cu viteză mai mare decât viteza luminii. Aceasta ar fi partea ridicolă. Nu putem alege ca particula pe care o măsurăm să aibă spinul într-un sens, deci nu putem impune ca particula cealaltă să aibă spinul de sens opus.

De fapt, acest experiment mintal e exact ce se întâmplă cu radiația găurii negre. Perechea de particule virtuale va avea o funcție de undă care prezice că cele două particule vor avea





Brane care  
se intersectează

Gaură neagră

fără îndoială spinii opuși (Fig. 4.21). Am vrea să prezicem spinul și funcția de undă ale particulei emergente, ceea ce ar fi cu puțință dacă am putea observa particula care a căzut înăuntru. Dar această particulă se află acum în interiorul găurii negre, unde funcția de undă și spinul nu pot fi măsurate. Din această cauză, spinul sau funcția de undă a particulei care a scăpat sînt imposibil de prezis. Ea poate avea spini diferiți și funcții de undă diferite, fiecare cu altă probabilitate, dar nu va avea un spin sau o funcție de undă unice. S-ar părea deci că puterea noastră de a prezice viitorul e și mai redusă. Ideea clasică a lui Laplace că putem prezice atît pozițiile, cît și vitezele particulelor a trebuit să fie modificată atunci cînd principiul de incertitudine ne-a arătat că nu se pot măsura simultan exact poziția și viteza. Totuși, rămînea cu puțință să măsurăm funcția de undă și să folosim ecuația Schrödinger pentru a prevedea cum va arăta ea în viitor. Aceasta ne-ar fi permis să

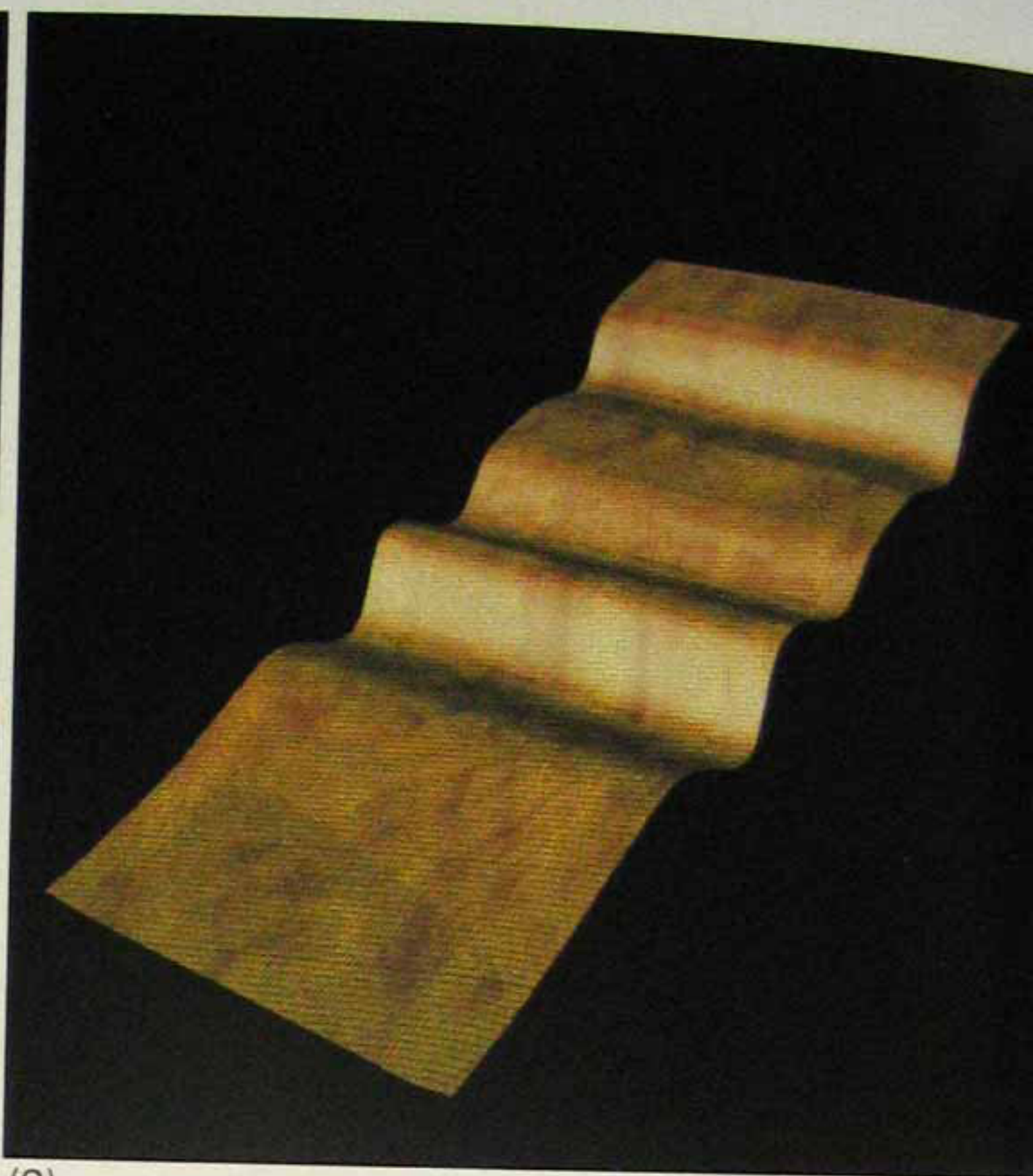
(Fig. 4.22)

Găurile negre pot fi reprezentate ca intersecții ale p-branelor în dimensiunile suplimentare ale spațiu-timpului. Informația despre starea internă a găurilor negre ar fi stocată ca unde ale p-branelor.





(1)



(2)

(Fig. 4.23)

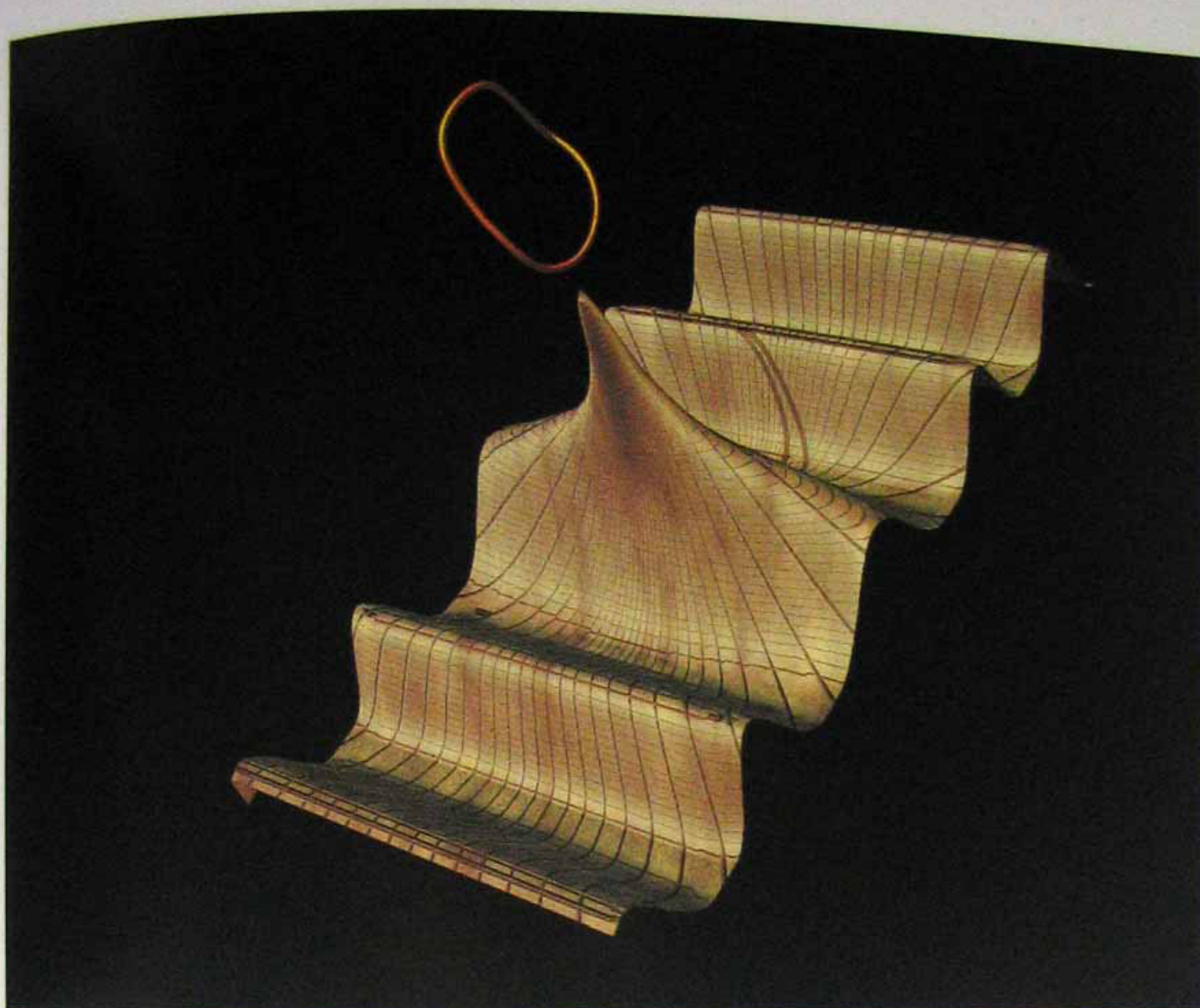
O particulă ce cade într-o gaură neagră poate fi imaginată ca o buclă închisă a corzii care ciocnește o p-brană **(1)**. Ea va produce unde pe p-brană **(2)**. Undele se pot uni și face ca o parte din p-brană să se rupă și să devină o coardă închisă **(3)**. Aceasta ar fi o particulă emisă de gaura neagră.

prezicem cu certitudine o combinație de poziții și viteze — ceea ce reprezintă jumătate din ce am fi putut prezice conform ideilor lui Laplace. Putem prezice cu certitudine că particulele au spini opuși, dar dacă una din particule cade într-o gaură neagră, nu se mai poate face nici o predicție certă asupra particulei rămase. Rezultă că nu există *nici o* măsurătoare în afara găurii negre care să poată fi prezisă cu certitudine: capacitatea noastră de a face previziuni precise ar fi redusă la zero. Poate că legile științei nu sînt mai bune ca astrologia pentru prezicerea viitorului.

Multor fizicieni nu le place această reducere a determinismului și sugerează că informația despre ceea ce se află în interiorul găurilor negre trebuie să poată ieși cumva de acolo. Timp de ani de zile, găsirea unei căi de a salva informația a fost doar o speranță, dar în 1996, Andrew Strominger și Cumrun Vafa au făcut un pas important. Ei au considerat că gaura neagră e alcătuită dintr-un număr de elemente de construcție, numite p-brane (vezi pag. 54).

Să ne amintim că p-branele pot fi reprezentate ca niște foi care se mișcă prin cele trei dimensiuni ale spațiului și de ase-





(3)

menea prin cele șapte dimensiuni suplimentare pe care nu le observăm (vezi Fig. 4.22, pag. 125). În anumite cazuri, putem arăta că numărul de unde de pe p-brane e același cu cantitatea de informație pe care ne-am aștepta s-o conțină gaura neagră. Dacă particulele lovesc p-branele, ele provoacă unde suplimentare pe ele. Similar, dacă undele care se mișcă în direcții diferite pe p-brane se întâlnesc într-un punct, ele pot crea un vîrf atît de mare, încît o parte din p-brană se rupe și e emisă ca o particulă. Astfel, p-branele pot absorbi și emite particule la fel ca găurile negre (Fig. 4.23).

Putem privi p-branele ca pe o teorie utilă; deși nu e nevoie să credem că sînt într-adevăr mici foi ce se mișcă într-un spațiu-timp plat, găurile negre se comportă ca și cum ar fi alcătuite din astfel de foi. La fel ca în cazul apei, pentru care — deși e alcătuită din miliarde și miliarde de molecule de  $H_2O$  — cu interacțiuni complicate — fluidul omogen e un model foarte util. Modelul matematic al găurilor negre alcătuite din p-brane dă rezultate asemănătoare celor obținute prin imaginarea perechii de particule virtuale descrisă mai sus. Astfel, din perspectivă pozitivistă, e un model la fel de bun, cel puțin









pentru anumite clase de găuri negre. Pentru aceste clase, modelul p-branelor prezice exact aceeași rată de emisie ca modelul perechii de particule virtuale. Există totuși o diferență importantă: în modelul p-branelor, informația despre ce a căzut în gaura neagră va fi stocat în funcția de undă a undelor de pe p-brane. P-branele sînt privite ca foi într-un spațiu-timp *plat* și, din acest motiv, timpul va curge înainte lin, razele de lumină nu vor fi deviate, iar informația din unde nu va fi pierdută. Informația va ieși în cele din urmă din gaura neagră în radiația emisă de p-brane. Astfel, conform modelului p-branelor, putem folosi ecuația Schrödinger pentru a calcula funcția de undă la un moment de timp ulterior. Nimic nu se va pierde, iar timpul va curge lin. Vom avea un determinism complet, în sens cuantic.

Care dintre aceste reprezentări e cea corectă? Se pierde o parte din funcția de undă în găurile negre sau informația iese din nou afară, așa cum sugerează modelul p-branelor? Aceasta e una din marile întrebări ale fizicii teoretice de azi. Mulți cred că cercetările recente indică faptul că informația nu se pierde. Lumea e sigură și previzibilă și nimic neprevăzut nu se va întîmpla. Nu e totuși chiar așa de clar. Dacă luăm în serios teoria relativității generale a lui Einstein, trebuie să acceptăm posibilitatea ca spațiu-timpul să se lege într-un nod, iar informația să se piardă în pliuri. Cînd naveta spațială *Enterprise* intră într-o gaură de vierme, se întîmplă ceva neașteptat. Știu, fiindcă am fost la bord și am jucat poker cu Newton, Einstein și Data. Am avut o mare surpriză. Priviți ce mi-a apărut pe genunchi.



Prin amabilitatea Paramount Pictures.  
STAR TREK: THE NEXT GENERATION  
Copyright © 2001, Paramount Pictures  
Toate drepturile rezervate



## CAPITOLUL 5

# Protejînd trecutul

*Este posibilă călătoria în timp?  
Ar putea o civilizație avansată să se întoarcă în timp  
și să schimbe trecutul?*





Whereas Stephen W. Hawking (having lost a previous bet on this subject by not demanding genericity) still firmly believes that naked singularities are an anathema and should be prohibited by the laws of classical physics,

And whereas John Preskill and Kip Thorne (having won the previous bet) still regard naked singularities as quantum gravitational objects that might exist, unclothed by horizons, for all the Universe to see,

Therefore Hawking offers, and Preskill/Thorne accept, a wager that

*When any form of classical matter or field that is incapable of becoming singular in flat spacetime is coupled to general relativity via the classical Einstein equations, then*

**A dynamical evolution from generic initial conditions (i.e., from an open set of initial data) can never produce a naked singularity (a past-incomplete null geodesic from  $\mathcal{I}_+$ ).**

The loser will reward the winner with clothing to cover the winner's nakedness. The clothing is to be embroidered with a suitable, truly concessionary message.

 Stephen W. Hawking

   
John P. Preskill & Kip S. Thorne

Pasadena, California, 5 February 1997

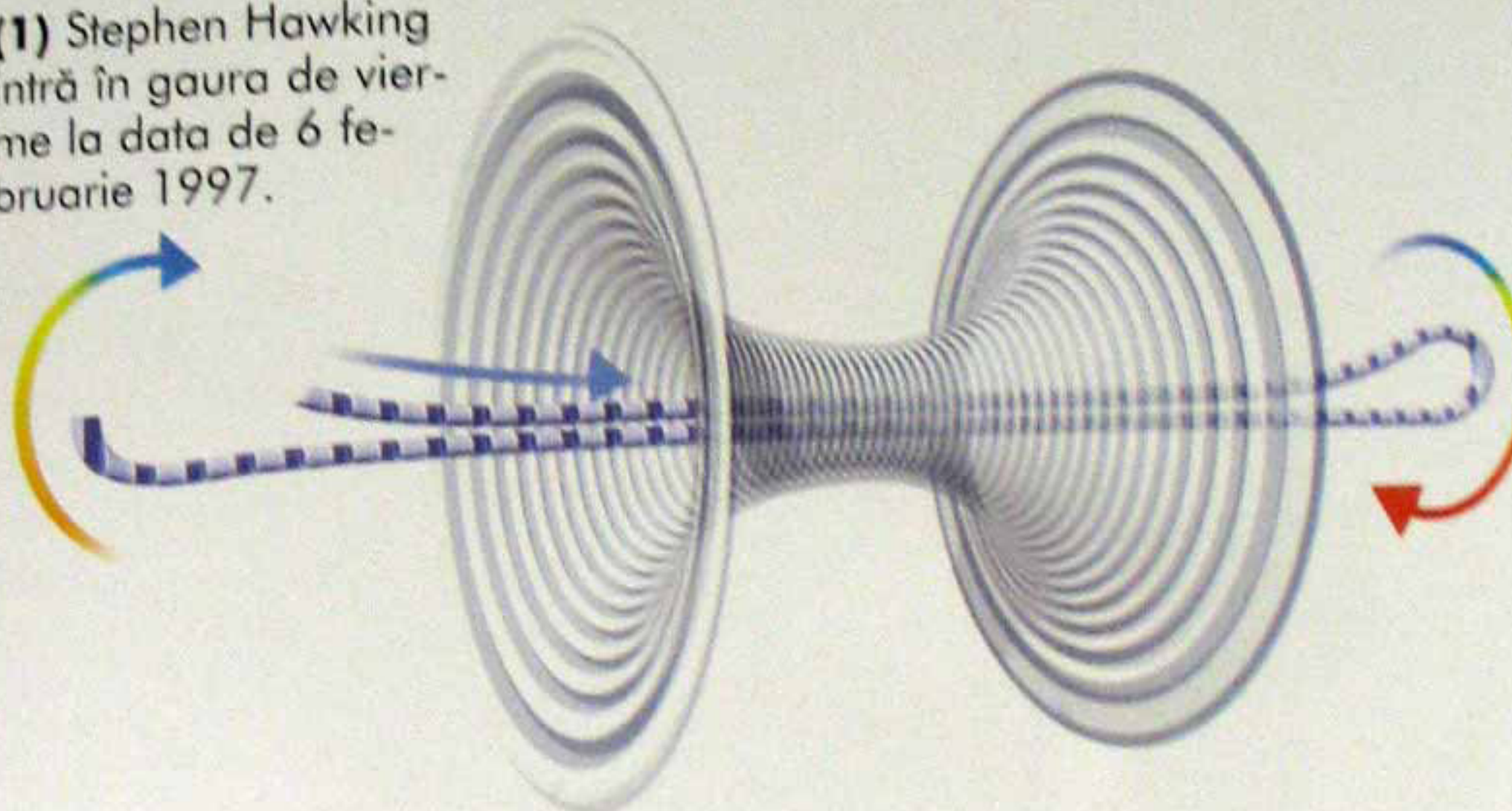




**(1)** Stephen Hawking intră în gaura de vierme la data de 6 februarie 1997.

**(3)** Stephen Hawking face un pariu sigur la data de 5 februarie 1997.

**(2)** În viitor s-a demonstrat că evoluția dinamică pornind de la condiții inițiale arbitrare nu poate genera niciodată o singularitate goală.



**P**rietenul și colegul meu Kip Thorne, cu care am făcut un număr de pariuri (vezi pag. 132), nu e unul din cei ce urmează direcțiile acceptate în fizică doar fiindcă toată lumea o face. A avut curajul să fie primul om de știință serios care să vorbească despre călătoria în timp ca despre o posibilitate practică.

E delicat să faci speculații pe tema călătoriei în timp. Rîști să provoci fie protestul că banii publici sînt risipiți pe ceva ridicol, fie cererea ca cercetările să devină secret militar. La urma urmei, cum ne-am putea apăra împotriva cuiva înarmat cu o mașină a timpului? El ar putea schimba istoria și conduce lumea. Puțini dintre noi sînt atît de îndrăzneți încît să lucreze la un subiect pe care fizicienii îl consideră incorect politic. Ne di-



*Kip Thorne*



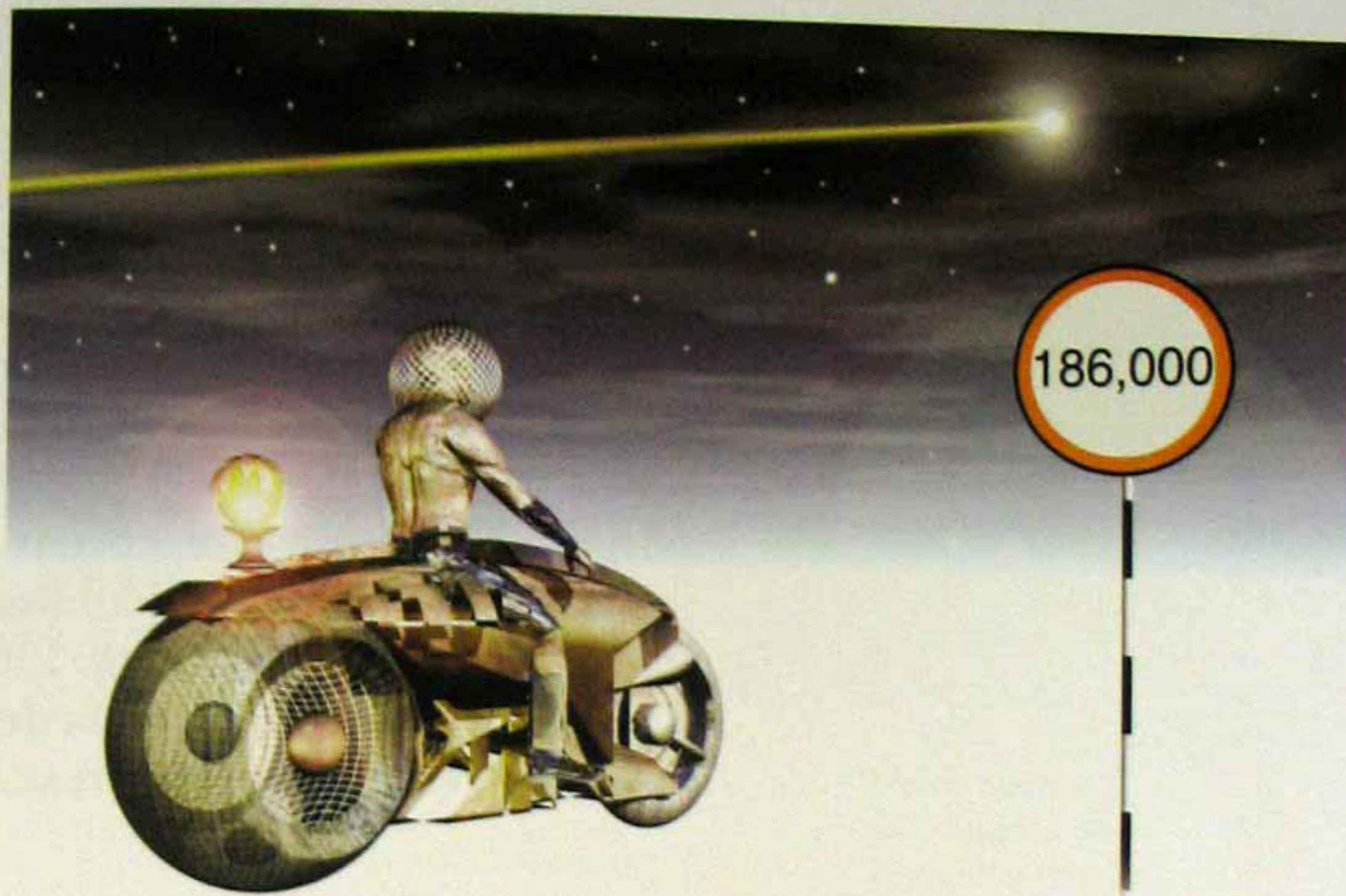
Nava spațială continuă să călătorească  
pe o buclă prin spațiu-timpul distorsionat.

Nava spațială  
călătorește  
de-a lungul unei  
mari bucle prin  
spațiu-timpul  
distorsionat.

Nava spațială se  
întoarce la ora  
11.45, cu cinci-  
sprezece minute  
înainte de ora de  
plecare.

O navă spația-  
lă decolează la  
ora 12.00.





simulăm cercetările folosind termeni tehnici pentru călătoria în timp.

Baza tuturor discuțiilor moderne despre călătoria în timp e teoria generală a relativității a lui Einstein. Așa cum am văzut în capitolele precedente, ecuațiile lui Einstein dau dinamica spațiului și timpului, arătând cum sînt ele curbate și distorsionate de materia și energia din Univers. În relativitatea generală, timpul propriu al unui observator, așa cum e măsurat de ceasul său, trebuie să crească mereu, la fel ca în teoria newtoniană sau în spațiu-timpul plat din relativitatea restrînsă. Ar exista însă acum posibilitatea ca spațiu-timpul să fie atît de distorsionat, încît să plecați cu o navă spațială și să vă întoarceți la un moment anterior decolării (Fig. 5.1).

Aceasta s-ar putea întîmpla dacă ar exista găuri de vierme, tuburi în spațiu-timp menționate în capitolul 4, care leagă diferite regiuni din spațiu-timp. Ideea e să conduceți nava spațială spre un capăt al găurii de vierme și să ieșiți apoi pe celălalt capăt, într-un alt loc și un alt timp (Fig. 5.2, pag. 136).





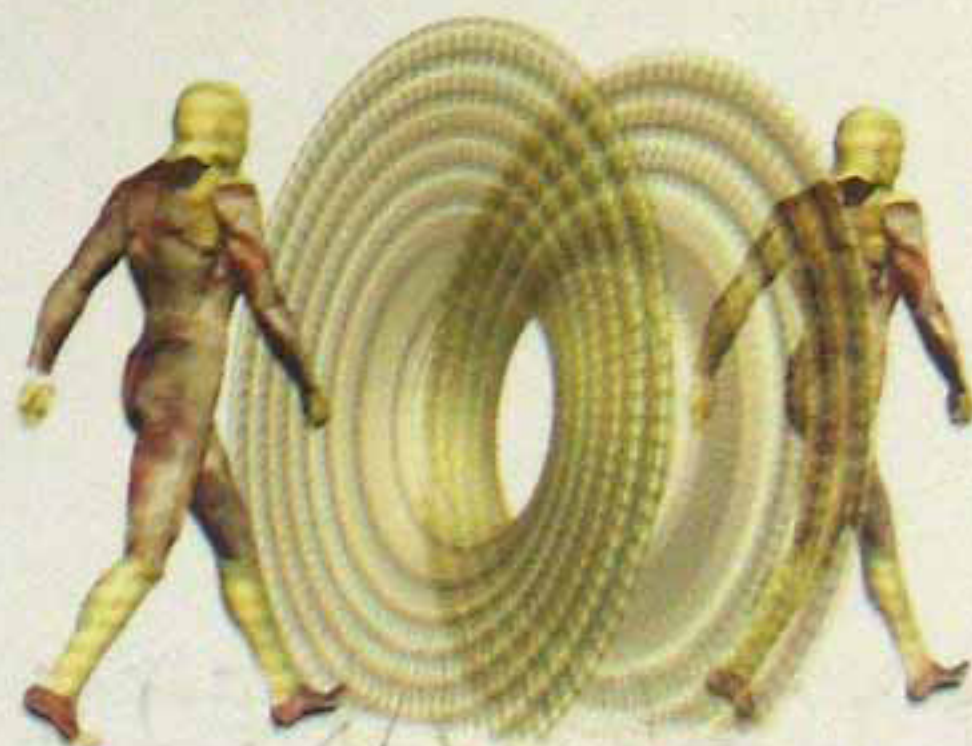
Găurile de vierme, dacă există, ar putea fi soluția la problema limitei de viteză în spațiu: conform relativității, traversarea galaxiei cu o navă spațială călătorind cu o viteză mai mică decât cea a luminii ar dura zeci de mii de ani. Dar ați putea călători printr-o gaură de vierme pînă în cealaltă parte a galaxiei și să ajungeți înapoi la cină. Putem însă arăta că, dacă găurile de vierme există, le puteți folosi și pentru a vă întoarce înainte de a pleca. Ați putea arunca în aer racheta pe rampa de lansare pentru a împiedica plecarea. E o variantă a paradoxului bunicului: ce s-ar întîmpla dacă v-ați întoarce în trecut și v-ați ucide bunicul înainte ca tatăl dumneavoastră să fie conceput? (Fig. 5.3, pag. 138)

Bineînțeles, e un paradox doar dacă vă închipuiți că, o dată ajunși în trecut, sînteți liberi să faceți ce vreți. Această carte nu

#### GAURĂ DE VIERME PUȚIN ADÎNCĂ

Intră la ora 12.00

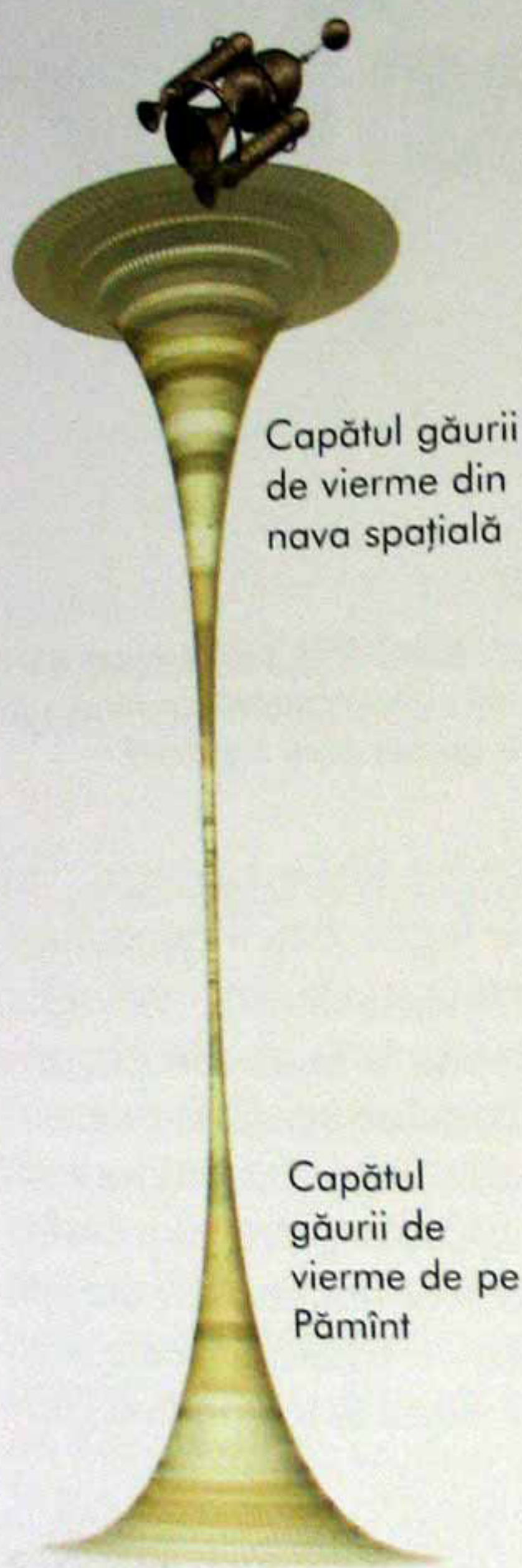
Iese la ora 12.00



(Fig. 5.2) O A DOUA VARIANTĂ A PARADOXULUI GEMENILOR

**(1)** Dacă ar exista o gaură de vierme cu cele două capete apropiate unul de celălalt, ați putea călători prin ea și v-ați întoarce în același timp.





Capătul găurii  
de vierme din  
nava spațială

Capătul  
găurii de  
vierme de pe  
Pământ

Intră de pe  
Pământ la  
ora 12.00

Sosește în  
interiorul navei  
spațiale la ora  
10.00

Nava spațială  
se întoarce pe  
Pământ avînd la  
bord capătul  
găurii de vierme!



Gaura de  
vierme a navei

**(2)** Ne putem închipui că luăm un capăt al găurii de vierme într-o lungă călătorie pe o navă spațială, în vreme ce capătul celălalt rămîne pe Pământ.

**(3)** Datorită efectului paradoxului gemenilor, cînd nava spațială se întoarce, pentru capătul găurii de vierme de pe navă a trecut mai puțin timp decît pentru cel rămas pe Pământ. Ar însemna că, pășind prin capătul de pe Pământ al găurii de vierme, ați putea ieși din navă la un moment anterior.

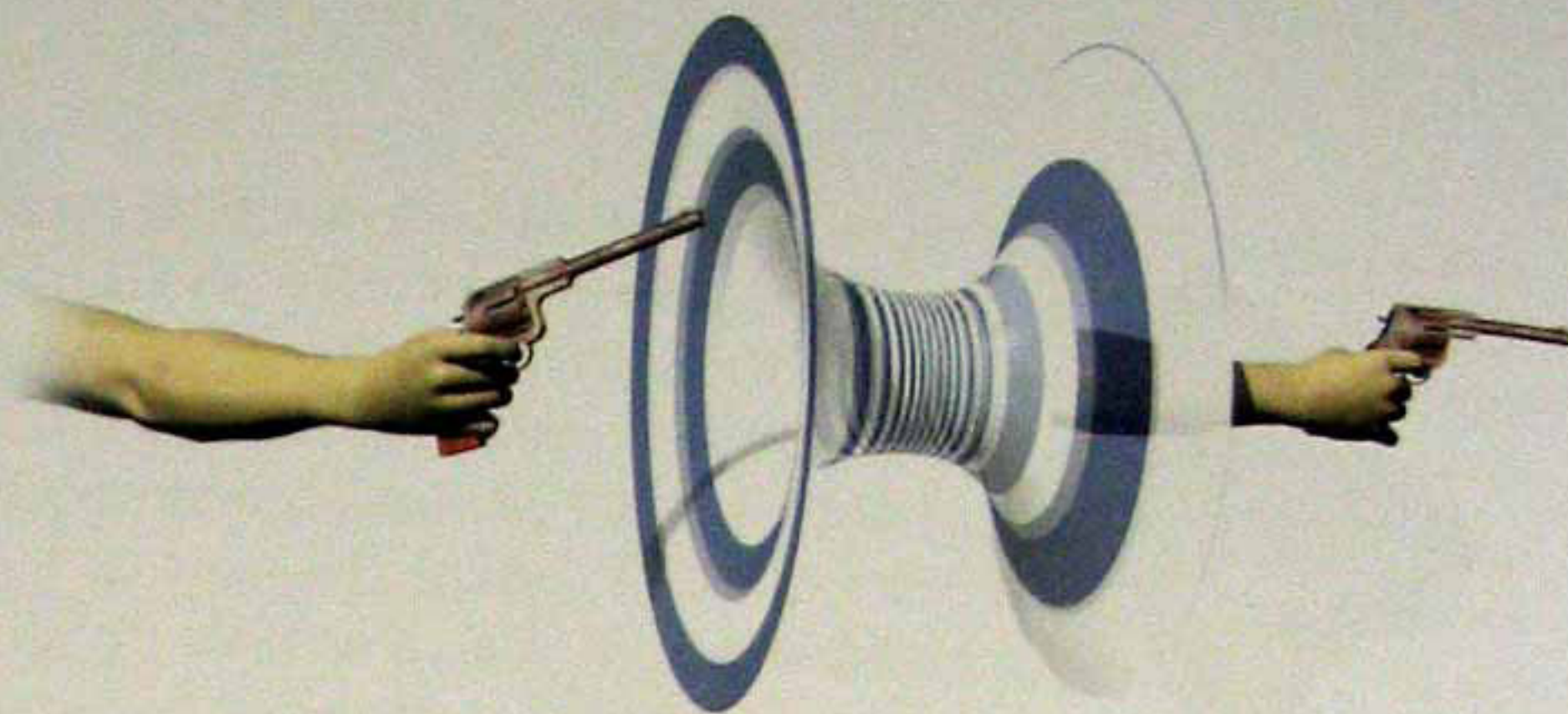


## CORZI COSMICE

Corzile cosmice sînt obiecte lungi, masive, avînd o secțiune transversală mică, ce ar fi putut fi produse în stadiile incipiente ale universului. O dată formate, ele au fost întinse și mai mult în timpul expansiunii universului, astfel că o singură coardă cosmică ar putea traversa întregul nostru univers observabil.

Apariția corzilor cosmice e sugerată de teoriile moderne ale particulelor elementare, care spun că, în stadiile timpurii și fierbinți ale universului, materia s-a aflat într-o fază simetrică, asemănătoare apei lichide — care este simetrică: e la fel în toate punctele și în toate direcțiile — și nu cristalelor de gheață, care au o structură discretă.

Cînd universul s-a răcit, simetria din stadiile timpurii s-ar fi putut rupe în moduri diferite, în regiuni îndepărtate. Prin urmare, materia cosmică ar fi putut ajunge în stări fundamentale diferite în aceste regiuni. Corzile cosmice sînt configurații de materie situate la granițele dintre aceste regiuni. Formarea lor a fost astfel o consecință inevitabilă a faptului că diferitele regiuni au stări fundamentale diferite.



(Fig. 5.3)

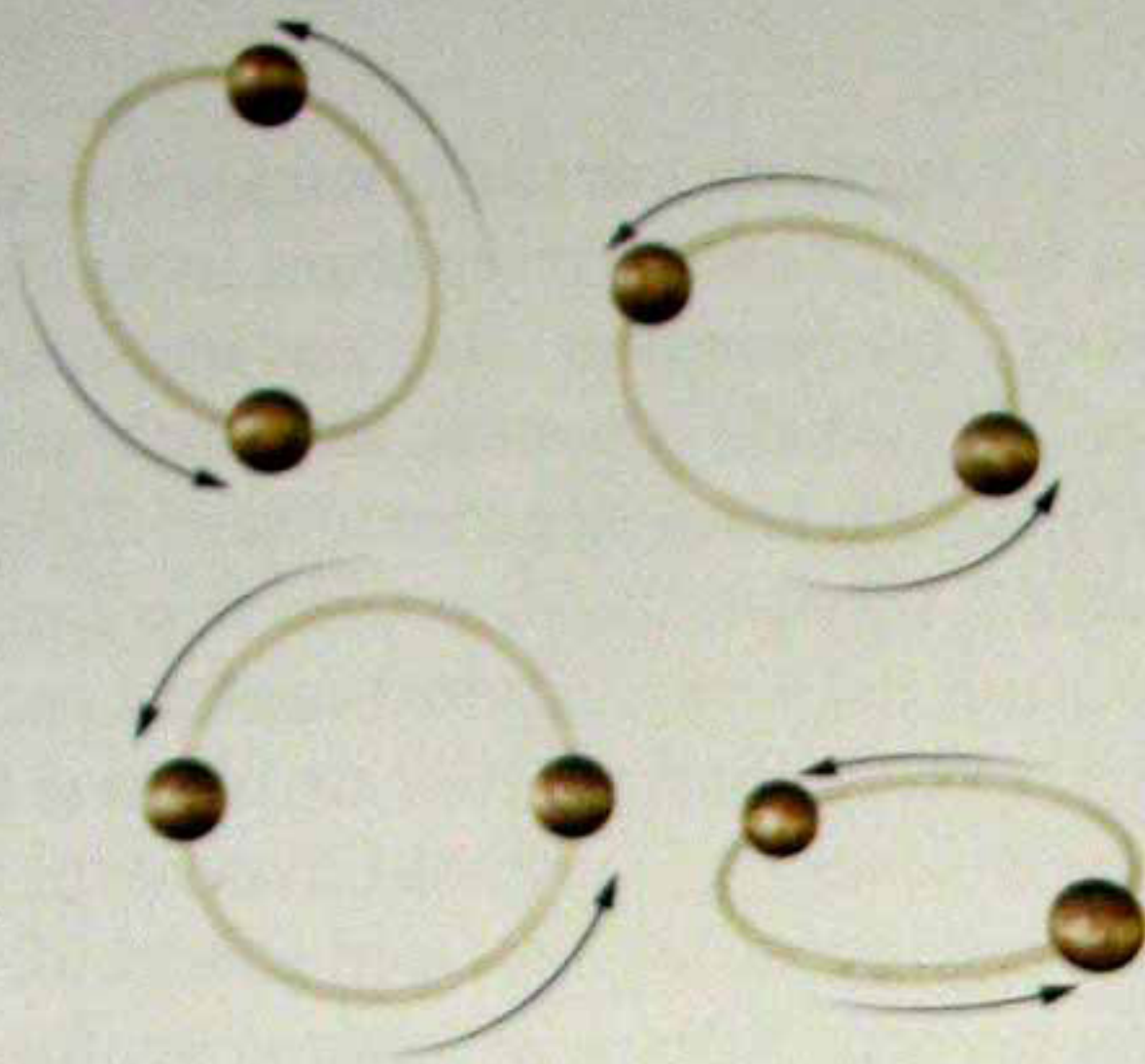
Poate un glonț tras printr-o gaură de vierme la un moment anterior să-l afecteze pe cel care l-a tras?

va intra într-o discuție filozofică despre liberul arbitru. Vom încerca în schimb să înțelegem dacă legile fizicii permit spațiu-timpului să fie atît de distorsionat încît un corp macroscopic, cum e o navă spațială, să se poată întoarce în propriul trecut. Conform teoriei lui Einstein, o navă spațială poate călători doar cu o viteză mai mică decît viteza luminii, urmînd ceea ce se cheamă o traiectorie temporală prin spațiu-timp. Putem deci formula întrebarea în termeni tehnici: admite spațiu-timpul traiectorii temporale închise — traiectorii care se întorc mereu în punctul de plecare? Voi numi astfel de traiectorii „bucle temporale”.

Există trei niveluri la care putem încerca să răspundem la întrebare. Primul e teoria generală a relativității a lui Einstein, care presupune că universul are o istorie bine definită, fără vreo nedeterminare. Pentru această teorie clasică avem o imagine destul de completă. Dar, după cum am văzut, teoria nu poate fi întru totul corectă, deoarece materia e supusă nedeterminării și fluctuațiilor cuantice.

Putem să ne întrebăm despre călătoria în timp la al doilea nivel, cel al teoriei semiclasice. Aici, considerăm că materia se comportă conform teoriei cuantice, există nedeterminare și fluctuațiile cuantice, dar spațiu-timpul e bine definit și clasic.





(Fig. 5.4)

Admite spațiu-timpul curbe temporale închise, care se întorc mereu în punctul de plecare?

Imaginea e mai puțin completă, dar avem măcar idee cum să procedăm.

În fine, al treilea nivel e teoria completă a gravitației cuantice, oricare va fi fiind ea. În această teorie, în care nu doar materia, ci și spațiul și timpul sînt supuse nedeterminării și fluctuațiilor cuantice, nu e clar nici măcar cum să punem întrebarea despre posibilitatea călătoriei în timp. Poate că nu ne rămîne decît să ne întrebăm în ce fel observatorii din regiuni unde spațiu-timpul e aproape clasic și neafectat de nedeterminare ar interpreta măsurătorile lor. Și-ar putea da ei seama că, într-o regiune cu gravitație puternică și mari fluctuații cuantice, a avut loc o călătorie în timp?

Să începem cu teoria clasică: spațiu-timpul plat din relativitatea restrînsă (relativitatea fără gravitație) nu permite călătoria în timp. Ea nu e permisă nici de primele spațiu-timpuri curbe cunoscute. A fost un șoc pentru Einstein atunci cînd în 1949 Kurt Gödel (vezi teorema lui Gödel din casetă) a descoperit un spațiu-timp reprezentînd un univers plin de materie în rotație, avînd bucle temporale în fiecare punct (Fig. 5.4).

Soluția lui Gödel necesita constanta cosmologică, or ea poate sau nu să existe în natură, dar au fost găsite și alte soluții fără constantă cosmologică. Un caz foarte interesant e cel în care două corzi cosmice se mișcă cu viteze mari una față de alta.

#### TEOREMA DE INCOMPLETITUDINE A LUI GÖDEL

În 1931, matematicianul Kurt Gödel a demonstrat faimoasa sa teoremă de incompletitudine privind natura matematicii. Teorema afirmă că în orice sistem formal de axiome, cum ar fi cel al matematicii actuale, vor exista întotdeauna propoziții despre care, pe baza axiomelor care definesc sistemul, nu se va putea spune nici că sînt adevărate, nici că sînt false. Gödel a arătat că există probleme care nu pot fi rezolvate de nici un set de reguli sau proceduri.

Teorema lui Gödel stabilește limite fundamentale pentru matematică. A fost un mare șoc pentru comunitatea științifică fiindcă a răsturnat convingerea larg răspîndită că matematica ar fi un sistem complet și coerent bazat pe un fundament logic unic. Teorema lui Gödel, principiul de nedeterminare al lui Heisenberg, precum și imposibilitatea practică de a urmări evoluția unui sistem determinist care devine haotic, formează nucleul unor limitări ale cunoașterii științifice care au fost înțelese abia în secolul XX.



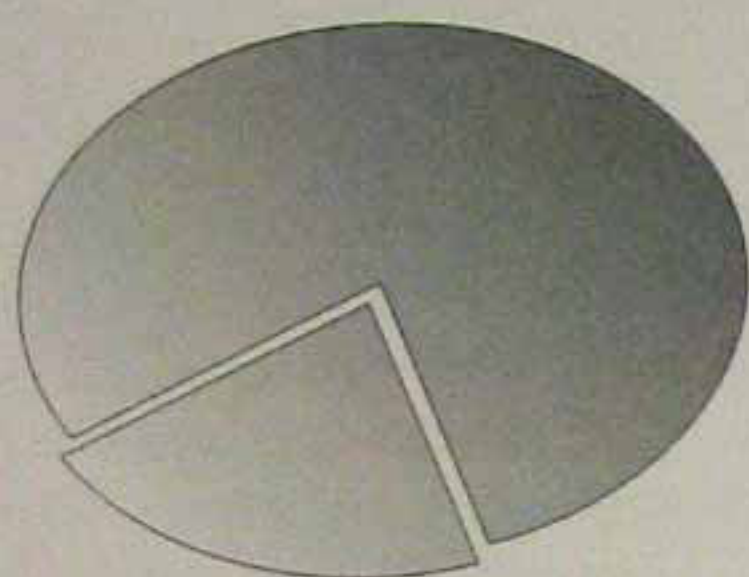


Fig. 5.5

Nu trebuie confundate corzile cosmice cu corzile din teoria corzilor, cu toate că există o legătură între ele. Corzile cosmice sînt obiecte cu lungime, dar cu secțiune foarte mică. Existența lor e prezisă de anumite teorii ale particulelor elementare. Spațiu-timpul din exteriorul unei singure corzi cosmice e plat, dar e un spațiu-timp plat din care se elimină o porțiune, de forma unei pene, avînd capătul ascuțit pe marginea corzii. E ca un con: luați un disc de hîrtie și tăiați din el un segment ca o porție de tort cu vîrfurile în centrul discului. Apoi dați la o parte segmentul tăiat și lipiți marginile părții rămase pentru a forma un con. Acesta reprezintă spațiu-timpul în care există corzile cosmice (Fig. 5.5).

Rețineți că suprafața conului fiind aceeași foaie plată de hîrtie de la început (mai puțin pînă), încă puteți considera „plată” această suprafață (cu excepția vîrfului). Puteți recunoaște că la vîrf curbura e diferită de zero prin faptul că un cerc din jurul vîrfului are o circumferință mai mică decît un cerc desenat la aceeași distanță de centrul discului original. Cu alte cuvinte, din cauza segmentului lipsă, un cerc în jurul vîrfului are o circumferință mai mică decît unul de aceeași rază din spațiul plat (Fig. 5.6).

Analog, în cazul unei corzi cosmice, segmentul eliminat din spațiu-timpul plat micșorează cercurile din jurul corzii, dar nu afectează timpul sau distanțele de-a lungul corzii. Rezultă că spațiu-timpul din jurul unei singure corzi cosmice nu conține bucle temporale, astfel că e imposibilă călătoria în trecut. Dar dacă există o a doua coardă cosmică, în mișcare față de prima, direcția sa temporală va fi o combinație a direcțiilor temporale și spațiale ale primei corzi. Segmentul eliminat din a doua coardă va scurta atît distanțele spațiale, cît și intervalele temporale măsurate de cineva care se mișcă împreună cu prima coardă (Fig. 5.7). Dacă mișcarea relativă a corzilor are loc la o viteză apropiată de viteza luminii, timpul economisit într-o călătorie în jurul ambelor corzi poate fi atît de mare încît, atunci cînd revenim în punctul de plecare, ne putem afla la un moment anterior plecării. Cu alte cuvinte, există bucle temporale pe care le putem urma pentru a călători în trecut.

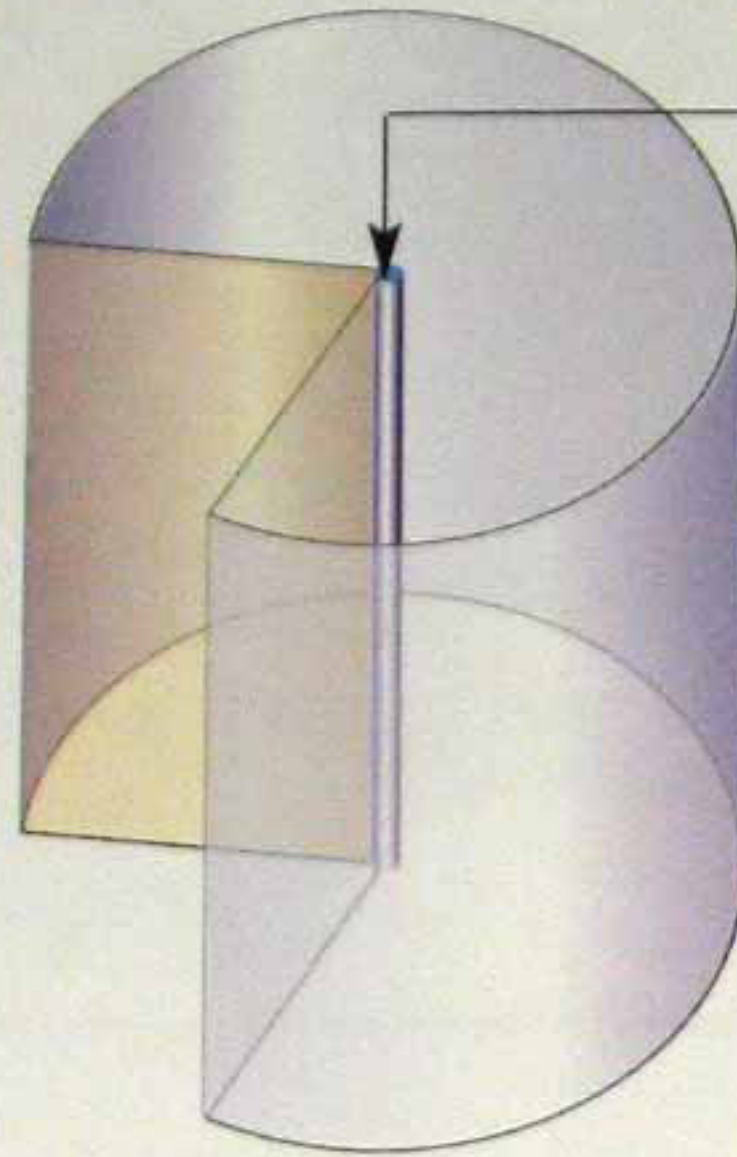
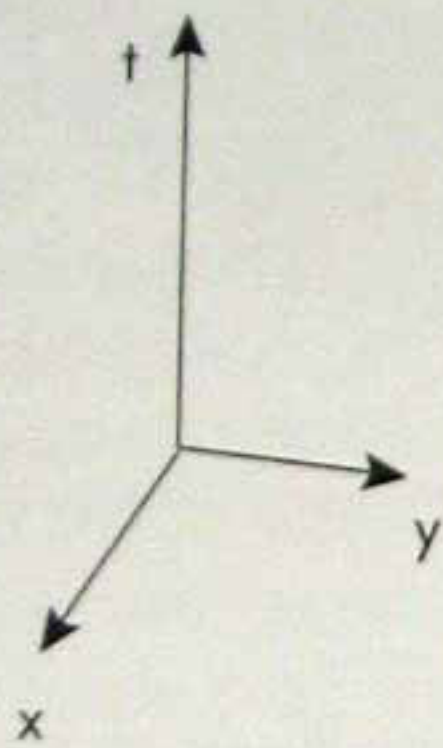
Spațiu-timpul corzilor cosmice conține materie cu densitate de energie pozitivă și e în acord cu legile fizicii pe care o cu-



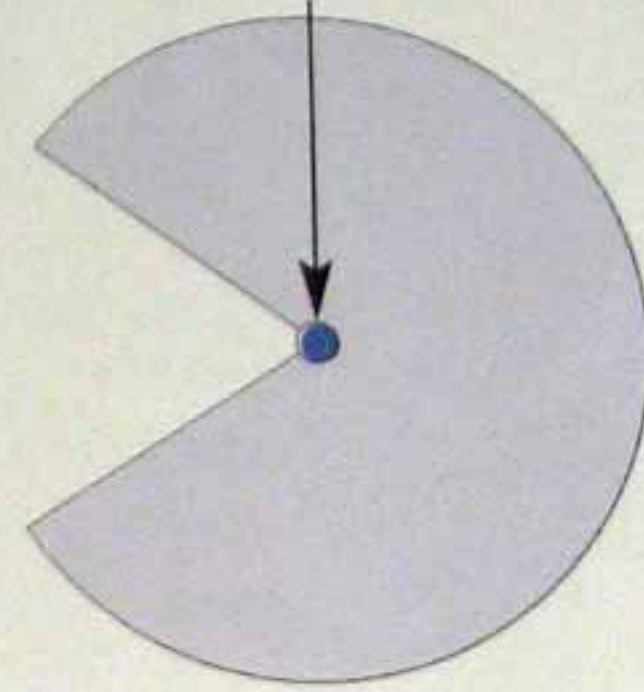


Fig. 5.6

Segmente în formă de pană eliminate din spațiu-timp, cu marginile ascuțite neparalele.

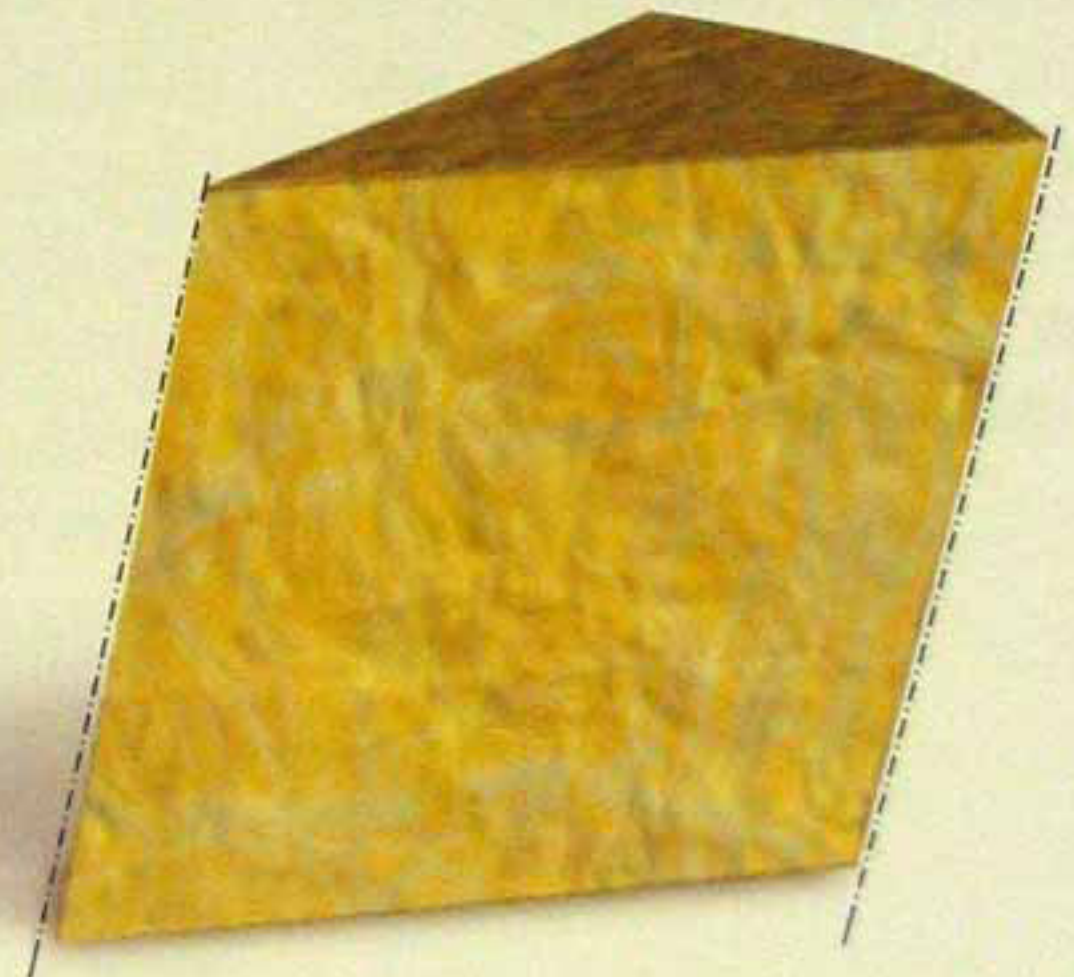


Coardă cosmică



Un segment eliminat pentru o singură coardă cosmică scurtează distanțele într-un sistem de referință în repaus față de coardă, dar lasă timpul neafectat.

Fig. 5.7

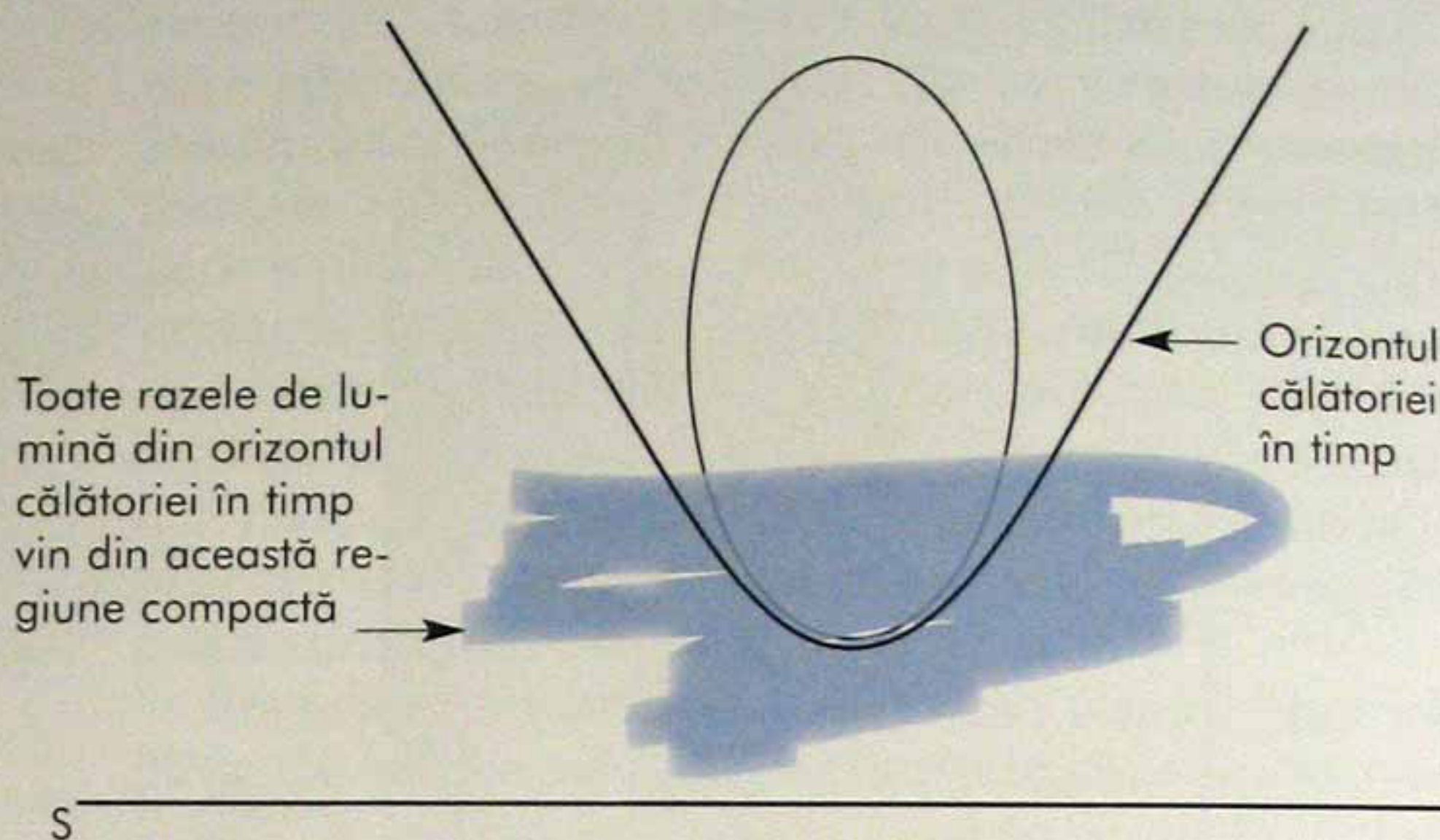


Un al doilea segment eliminat dintr-o a doua coardă cosmică în mișcare față de prima va scurta atât distanțele spațiale, cât și intervalele temporale, așa cum sînt ele măsurate într-un sistem de referință în repaus față de prima coardă.





## ORIZONTUL FINIT GENERAT AL CĂLĂTORIEI ÎN TIMP



(Fig. 5.8)

Nici măcar cele mai avansate civilizații nu pot distorsiona spațiu-timpul decât într-o regiune finită. Orizontul călătoriei în timp, frontiera acelei regiuni a spațiu-timpului în care e posibilă călătoria în propriul trecut, ar fi generat de raze de lumină care provin din regiuni finite.

noaștem. Distorsionarea care produce bucele temporale se extinde însă la infinit, atât în spațiu, cât și în timp. Aceste spațiu-timpuri au fost create astfel încât să permită călătoria în timp. Nu avem vreun motiv să credem că universul nostru a fost creat într-un mod atât de distorsionat și nu avem nici o dovadă certă a sosirii unor vizitatori din viitor. (Personal, resping posibilitatea teoriei conspirației, care spune că OZN-urile vin din viitor, iar guvernul știe acest lucru, dar îl ascunde. Nu prea sînt dovezi privind tăinuirea.) Voi presupune deci că nu există bucle temporale în trecutul îndepărtat sau, mai exact, în trecutul unei anumite suprafețe din spațiu-timp, pe care o voi nota cu  $S$ . Se pune atunci întrebarea: ar putea o civilizație avansată să construiască o mașină a timpului? Altfel spus, ar putea ea modifica structura spațiu-timpului din viitorul lui  $S$  (zona de deasupra suprafeței  $S$  din diagramă) astfel încât să apară bucle temporale într-o regiune finită? Spun regiune finită, deoarece oricît de avansată ar fi acea civilizație, ea nu ar putea probabil controla decât o parte finită a universului.

În știință, găsirea formalismului adecvat unei probleme e adesea cheia rezolvării ei, iar acesta e un bun exemplu. Pentru a defini ce înseamnă o mașină finită a timpului, m-am întors la câteva lucrări mai vechi ale mele. Călătoria în timp e posibilă într-o regiune a spațiu-timpului unde există bucle temporale, dru-



muri străbătute cu viteze mai mici decît cea a luminii, dar care duc înapoi în locul și momentul plecării datorită deformării spațiu-timpului. Fiindcă am presupus că nu există bucle temporale în trecutul îndepărtat, trebuie să existe ceea ce eu numesc „orizontul” călătoriei în timp, frontiera ce separă regiunea cu bucle temporale de cea care nu conține astfel de bucle (Fig. 5.8).

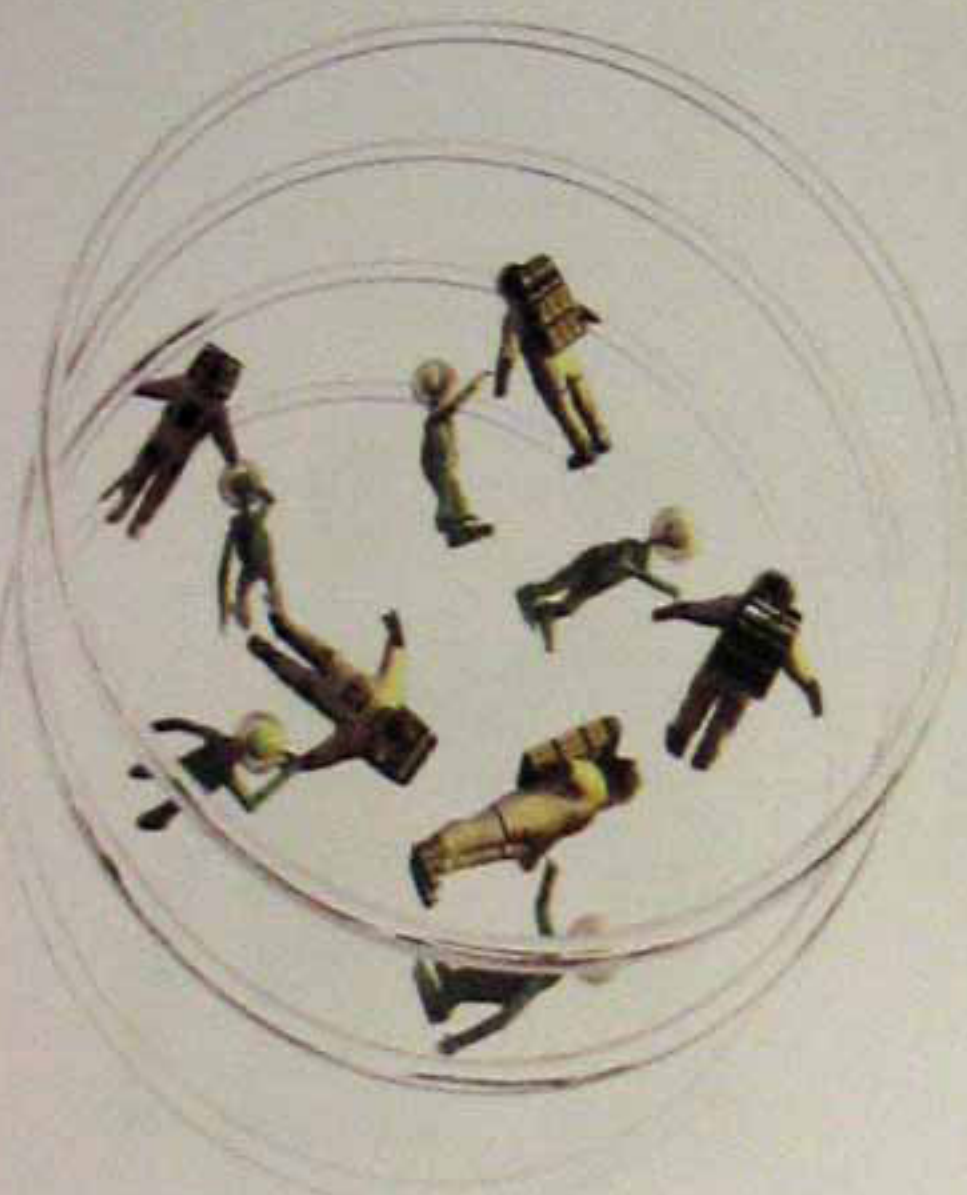


Orizonturile călătoriei în timp sînt asemănătoare orizonturilor găurilor negre. În timp ce orizontul găurii negre e format de razele de lumină care sînt la limita de a cădea în interiorul găurii negre, orizontul călătoriei în timp e format de razele de lumină aflate la limita de a se închide în ele însele. Iau drept criteriu pentru o mașină a timpului ceea ce numesc orizont finit generat — un orizont format de razele de lumină care provin, toate, dintr-o regiune mărginită. Cu alte cuvinte, ele nu vin de la infinit sau dintr-o singularitate, ci își au originea într-o regiune finită care conține bucle temporale — acel gen de regiune pe care civilizația avansată ar trebui s-o creeze.

Adoptarea acestei definiții pentru o mașină a timpului are avantajul de a permite folosirea aparatului matematic dezvoltat de Robert Penrose și de mine pentru a studia singularitățile și găurile negre. Chiar și fără a folosi ecuațiile Einstein, pot arăta că, în general, un orizont finit generat va conține o rază de lumină care se intersectează cu ea însăși — o rază de lumină care se întoarce mereu în același punct. De fiecare dată cînd lumina se întoarce, ea se va deplasa tot mai mult spre albastru, astfel că imaginile vor deveni tot mai albastre. Crestele undeii unui puls luminos vor fi din ce în ce mai apropiate una de alta, iar lumina se va întoarce la intervale de timp tot mai scurte, intervale măsurate în timpul propriu. De fapt, o

*Se pune atunci întrebarea: ar putea o civilizație avansată să construiască o mașină a timpului?*





(Fig. 5.9, deasupra)

Pericolul călătoriei în timp.

(Fig. 5.10, pag. 145)

În teoriile cuantice, predicția că găurile negre radiază și își micșorează masa implică faptul că energia negativă trece prin orizont în interiorul găurilor negre. Pentru ca o gaură neagră să-și micșoreze dimensiunile trebuie ca densitatea de energie pe orizont să fie negativă, element necesar pentru a construi o mașină a timpului.

particulă de lumină va avea o istorie finită, chiar dacă ea se învîrte la infinit într-o regiune finită fără a atinge o singularitate a curburii.

Poate părea irelevant faptul că o particulă de lumină își încheie istoria într-un interval de timp finit. Dar eu pot demonstra că ar putea exista drumuri străbătute cu o viteză mai mică decît cea a luminii și care au o durată finită. Acestea ar putea fi istoriile unor observatori prinși într-o regiune finită înainte de orizont și care s-ar învîrți din ce în ce mai repede, pînă ar atinge viteza luminii într-un timp finit. Deci, dacă o extraterestră frumoasă vă invită în mașina ei temporală, pașiți cu prudență. Ați putea cădea în capcana uneia dintre aceste istorii repetitive de durată finită (Fig. 5.9).

Rezultatele nu depind de ecuațiile lui Einstein, ci numai de felul în care spațiu-timpul ar trebui distorsionat pentru a produce bucle temporale într-o regiune finită. Ne putem întreba însă ce fel de materie ar trebui să folosească o civilizație avansată pentru a distorsiona spațiu-timpul și a construi o mașină a timpului de dimensiuni finite. Poate avea o densitate de energie pretutindeni pozitivă, ca în cazul spațiu-timpului corzilor cosmice menționate mai sus? Spațiu-timpul corzilor cosmice nu satisface condiția ca buclele temporale să apară într-o regiune finită. Dar poate că de vină e numai lungimea infinită a corzilor cosmice. Ne-am putea imagina că am construi o mașină finită a timpului folosind bucle finite de corzi cosmice și avînd pretutindeni o densitate de energie pozitivă. Îmi pare rău că-i dezamăgesc pe cei care, precum Kip, vor să se întoarcă în trecut, dar acest lucru nu e cu putință dacă densitatea de energie e pozitivă pretutindeni. Pot demonstra că pentru a construi o mașină finită a timpului e nevoie de energie negativă.

În teoriile clasice, densitatea de energie e pozitivă peste tot, deci o mașină finită a timpului e imposibilă la acest nivel. Situația e însă diferită la nivelul teoriei semiclasice, care consideră că materia se comportă conform legilor teoriei cuantice, dar spațiu-timpul e bine definit și clasic. Așa cum am văzut, conform principiului de incertitudine, chiar și în spațiul aparent gol există o fluctuație permanentă a câmpurilor, iar densitatea de energie e infinită. Astfel, pentru a obține densitatea de energie finită observată în univers, trebuie să scădem o cantitate infinită de energie. Scăderea poate conduce, cel puțin local, la o densitate de energie negativă. Chiar și în spațiul plat



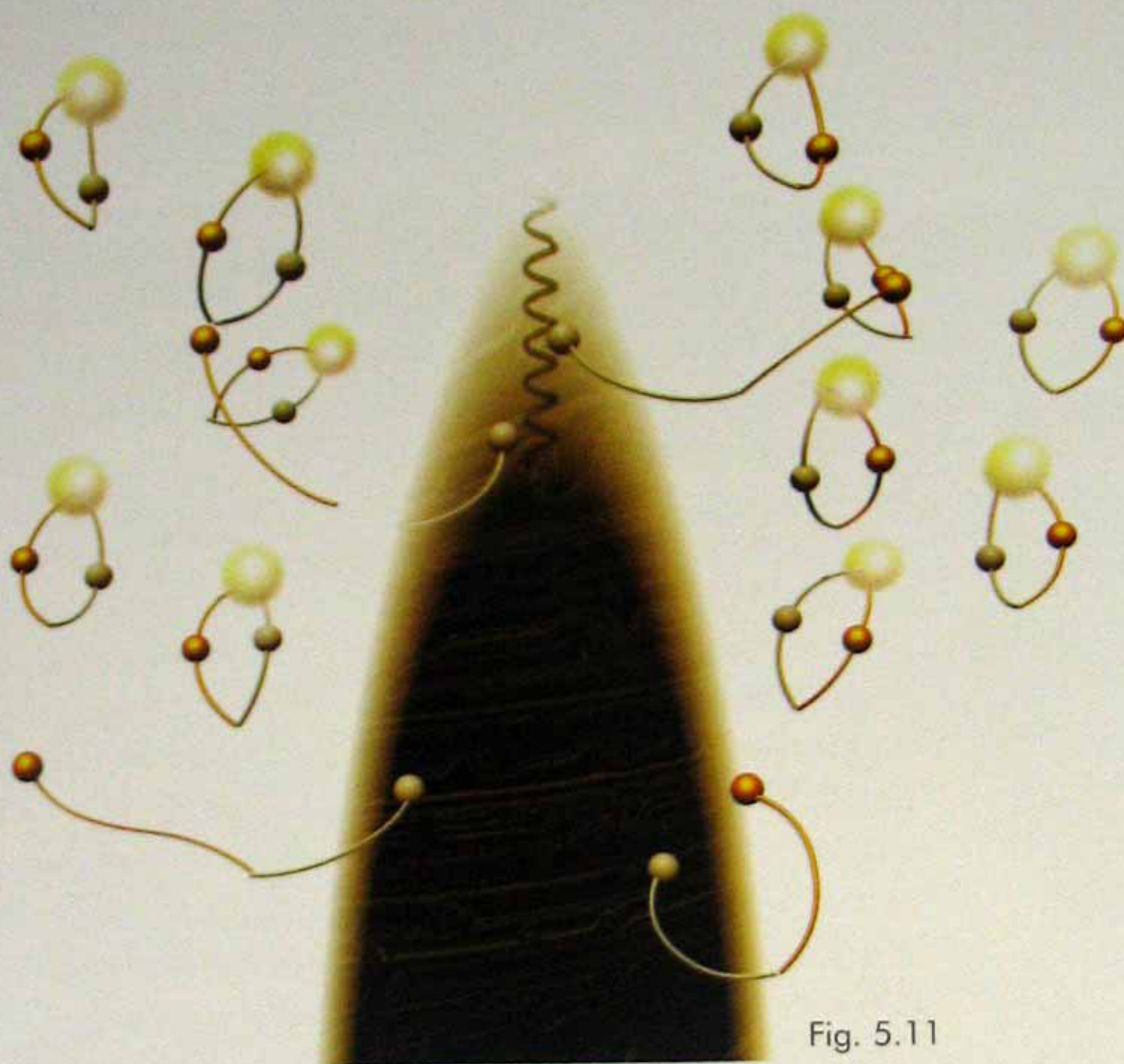


Fig. 5.11

pot fi găsite stări cuantice pentru care densitatea de energie  $e$ , local, negativă, deși energia totală e pozitivă. Întrebarea e dacă aceste valori negative provoacă acea distorsionare a spațiu-timpului necesară pentru a construi o mașină finită a timpului. După cum am văzut în capitolul 4, fluctuațiile cuantice fac ca spațiul aparent gol să fie plin de perechi de particule virtuale care sînt generate, se depărtează și apoi se apropie pentru a se anihila reciproc (Fig. 5.10). Un membru al perechii virtuale va avea energie pozitivă, iar celălalt energie negativă. În preajma unei găuri negre, membrul cu energie negativă poate cădea în interiorul ei, iar celălalt poate scăpa la infinit, apărînd sub formă de radiație care transportă energie pozitivă din gaura neagră. Particulele cu energie negativă care cad în interior provoacă scăderea masei găurii negre și evaporarea ei lentă, orizontul îngustîndu-se (Fig. 5.11).

Materia obișnuită, cu densitate de energie pozitivă, are un efect gravitațional atractiv și deformează spațiu-timpul curbînd razele de lumină una către alta — așa cum, în capitolul 2, bila mare de pe suprafața elastică curbează mereu traiectoriile bilelor mici spre ea, niciodată în sens invers.

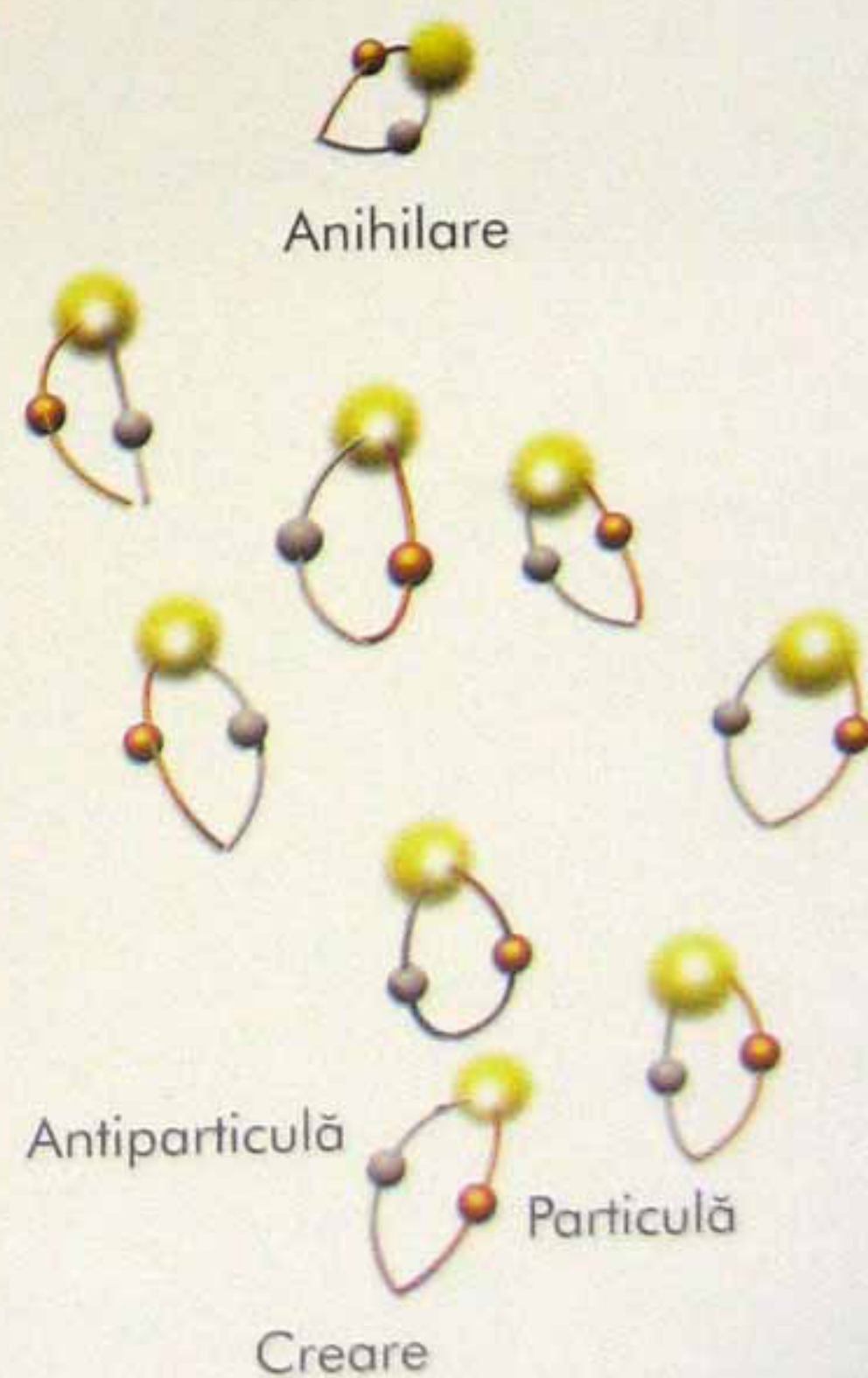


Fig 5.10





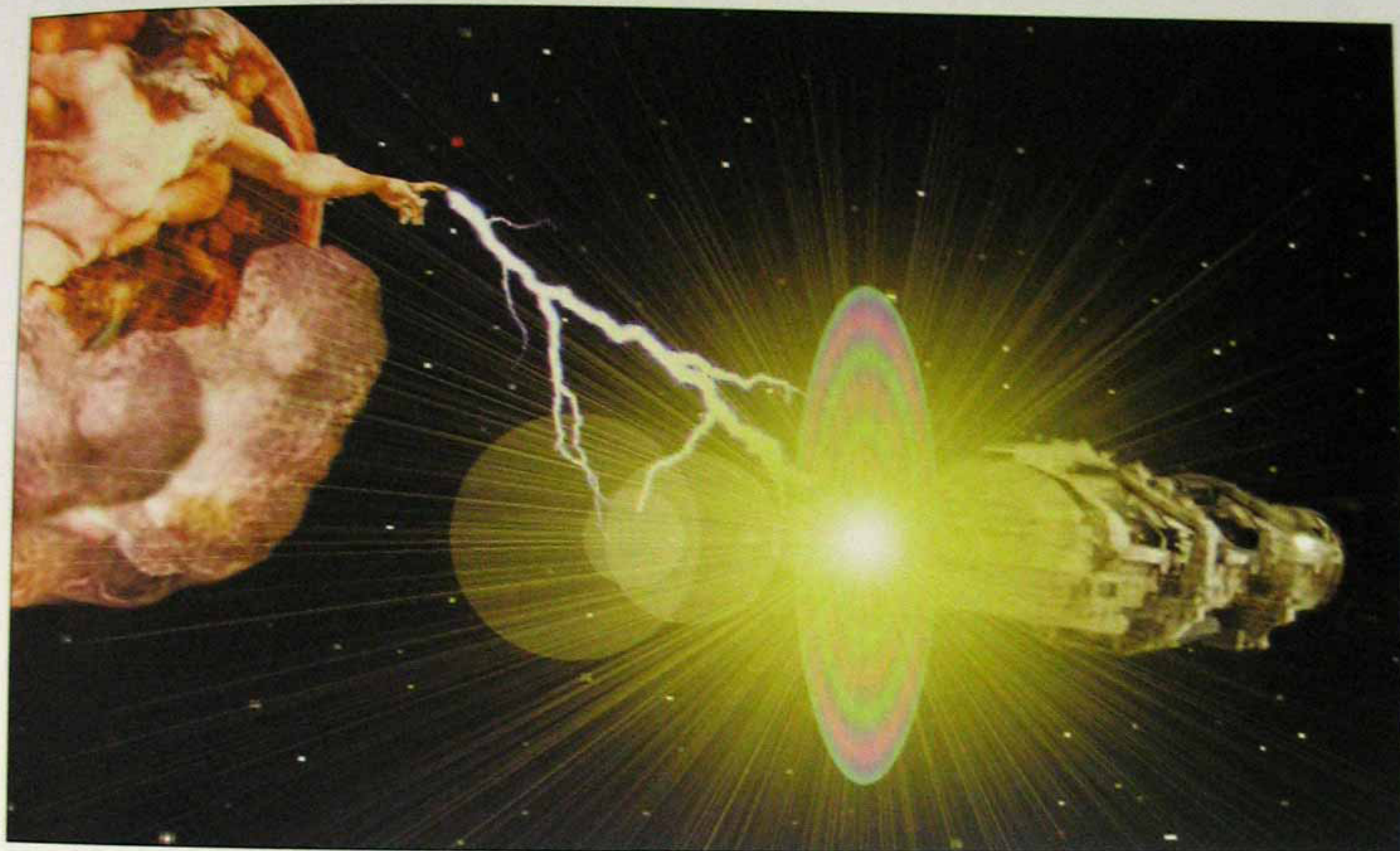
*Nepotul meu,  
William Mackenzie Smith*

De aici ar rezulta că aria orizontului unei găuri negre nu poate decît crește cu timpul. Pentru ca orizontul unei găuri negre să se îngusteze, trebuie ca densitatea de energie pe orizont să fie negativă și să deformeze spațiu-timpul astfel încît razele de lumină să devină divergente. Am înțeles asta pentru prima dată cînd m-am dus la culcare, la scurt timp după nașterea fiicei mele. N-am să spun cînd s-a întîmplat, dar acum am un nepot.

Evaporarea găurilor negre arată că la nivel cuantic densitatea de energie poate uneori deveni negativă și distorsiona spațiu-timpul într-un mod care ar permite construirea unei mașini a timpului. Ne putem deci închipui că o civilizație foarte avansată ar aranja lucrurile astfel încît să obțină o densitate de energie suficient de negativă pentru a face posibilă construirea unei mașini a timpului care să fie folosită pentru obiecte macroscopice, cum ar fi o navă spațială. Există însă o diferență esențială între orizontul unei găuri negre, format de razele de lumină care sînt pe punctul de a evada din cîmpul gravitațional al găurii negre, și orizontul din cazul unei mașini a timpului, care conține raze de lumină ce descriu bucle în spațiu-timp. O particulă virtuală mișcîndu-se pe o astfel de curbă închisă își va atinge starea energetică fundamentală mereu în același punct. Ne-am aștepta deci ca densitatea de energie să fie infinită pe orizont — frontiera mașinii timpului, regiunea în care putem călători în trecut. Rezultatul a fost obținut din calcule explicite, în condiții suficient de simple pentru a efectua calcule exacte. Ar însemna că o persoană sau o sondă care ar încerca să traverseze orizontul pentru a pătrunde în interiorul mașinii timpului va fi nimicită de un fulger de radiație (Fig. 5.12). Astfel, viitorul călătoriei în timp pare să fie negru — sau ar trebui poate să spunem orbitor de alb?

Densitatea de energie a materiei depinde de starea în care ea se află, deci e posibil ca o civilizație avansată să facă astfel încît densitatea de energie să fie finită pe frontiera mașinii timpului, „înghețînd” sau eliminînd particulele virtuale ce se rotesc pe bucle închise. Nu e însă clar că o asemenea mașină a timpului ar fi stabilă: cea mai mică perturbație, cum ar fi încercarea cuiva de a trece prin orizont pentru a intra în mașina





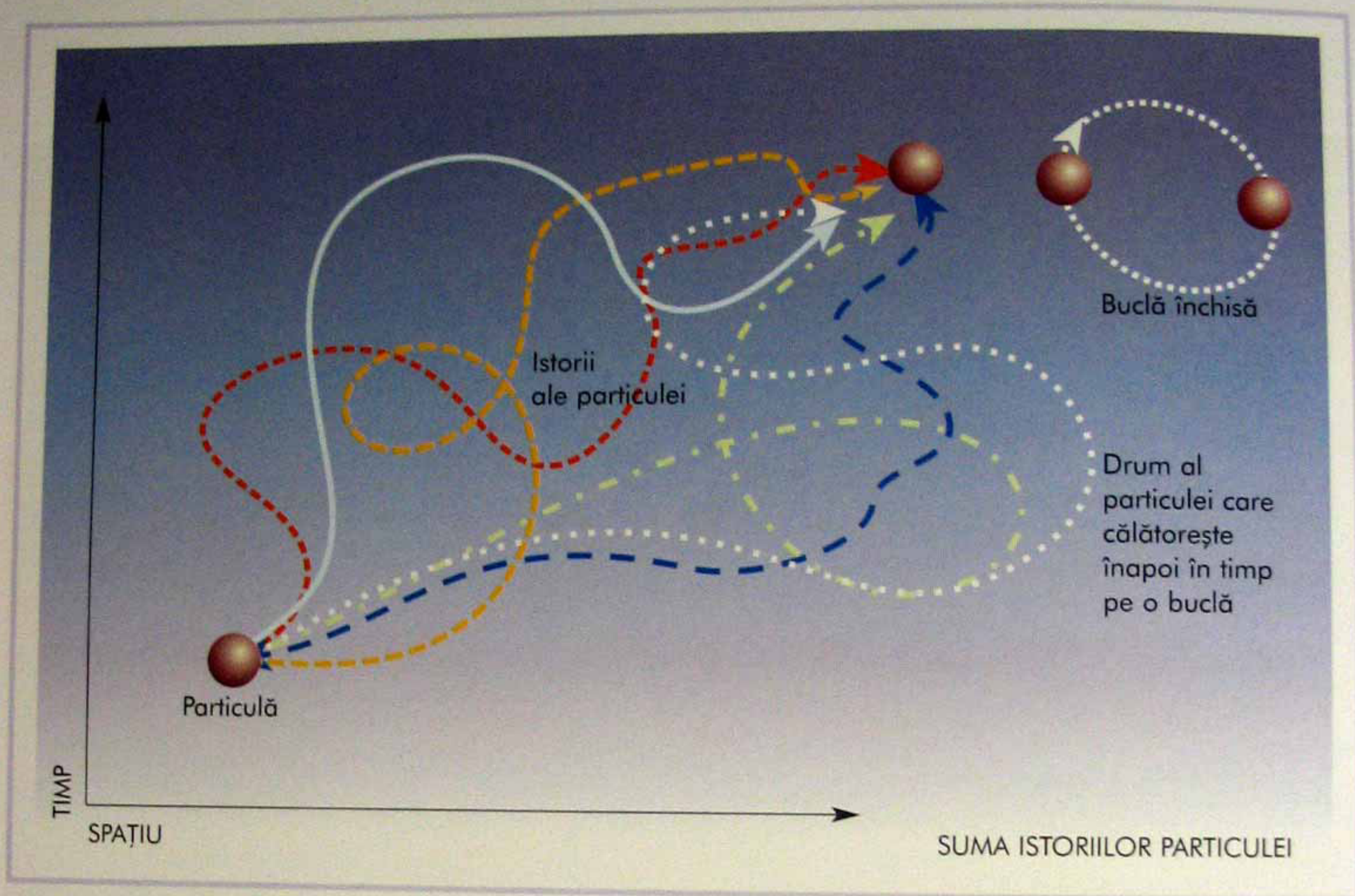
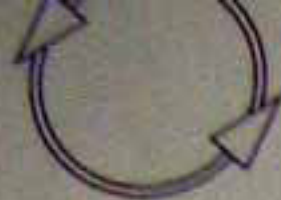
timpului, ar putea pune în mișcare particulele virtuale și ar declanșa un fulger de radiație. E o problemă la care fizicienii ar trebui lăsați să mediteze fără a fi luați în rîs. Chiar dacă se va dovedi că e imposibil să călătorim în timp, e important să înțelegem de ce.

Pentru a da un răspuns definitiv, trebuie să luăm în considerare nu numai fluctuațiile cuantice ale cîmpurilor materiale, ci și pe cele ale spațiu-timpului însuși. Ne-am aștepta ca acestea să încurce traiectoriile razelor de lumină și întreg conceptul de ordonare temporală. Putem privi radiația găurilor negre ca pe o scurgere, din moment ce fluctuațiile cuantice ale spațiu-timpului fac ca orizontul să nu fie bine definit. Neavînd încă o teorie completă a gravitației cuantice, e dificil să spunem care ar fi efectele fluctuațiilor spațio-temporale. Putem totuși spera să obținem cîteva indicii din sumele istoriilor, introduse de Feynman și prezentate în capitolul 3.

(Fig. 5.12)

Dacă am încerca să traversăm orizontul mașinii timpului, am putea fi nimiciți de un fulger de lumină.





(Fig. 5.13)

Suma Feynman a istoriilor trebuie să includă atât istoriile în care particulele călătoresc înapoi în timp, cât și pe cele reprezentate prin bucle închise în spațiu-timp.

Fiecare istorie va fi un spațiu-timp curb ce conține câmpuri materiale. Cum trebuie să însumăm toate istoriile posibile, nu doar pe cele care satisfac anumite ecuații, suma trebuie să includă și spațiu-timpuri suficient de distorsionate pentru a permite călătoria în trecut (Fig. 5.13). Se pune întrebarea: de ce nu are loc oriunde călătoria în timp? Răspunsul e că, la scară microscopică, are loc într-adevăr călătoria în timp, dar n-o observăm. Dacă aplicăm unei particule ideea lui Feynman de însumare a istoriilor, trebuie să includem atât istoriile în care particula călătorește mai repede decât lumina, cât și cele în care călătorește înapoi în timp. În particular, vor exista istorii în care particula descrie bucle în spațiu și timp. Ar fi ceva în genul filmului *Ziua cîrțiței*, în care un reporter re trăiește mereu aceeași zi (Fig. 5.14).

Asemenea particule cu istorii în forma unor bucle închise nu pot fi observate direct cu un detector de particule. Efecte-



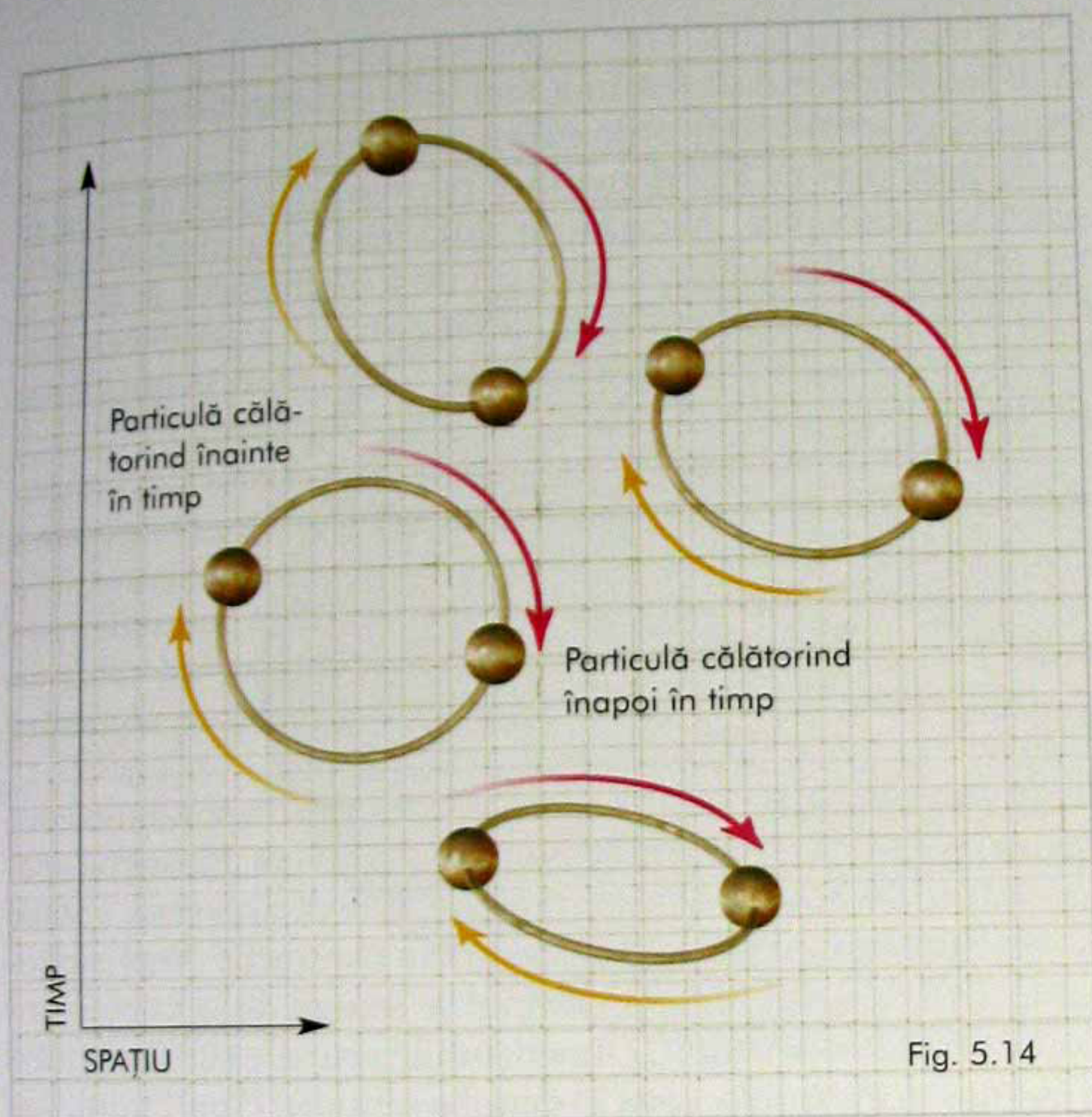
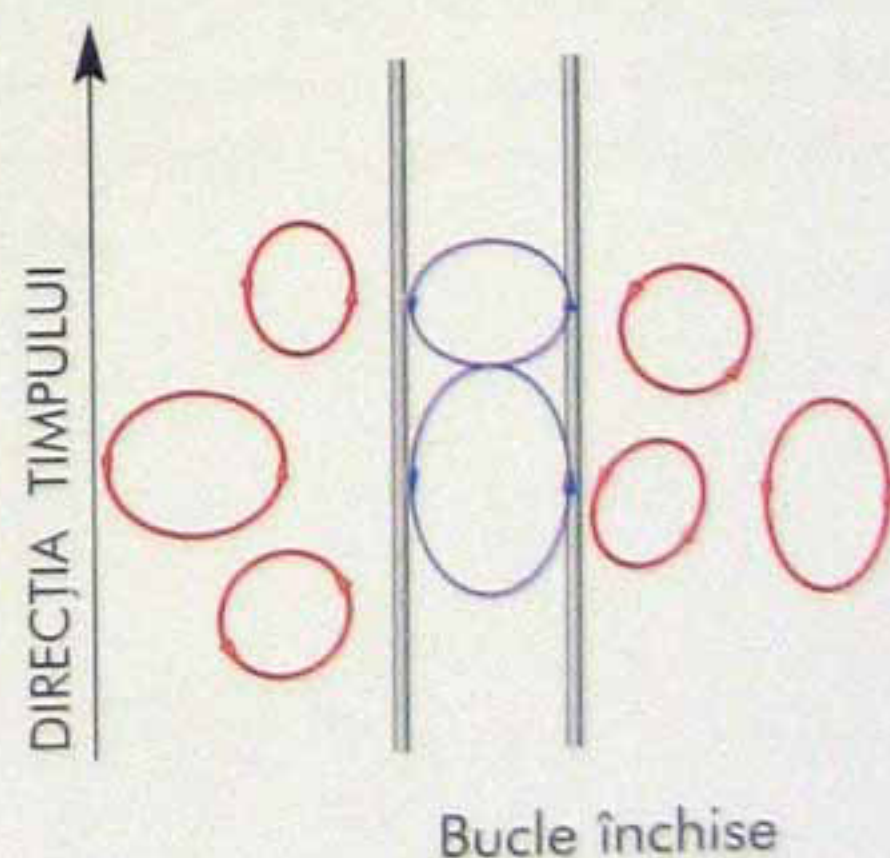


Fig. 5.14

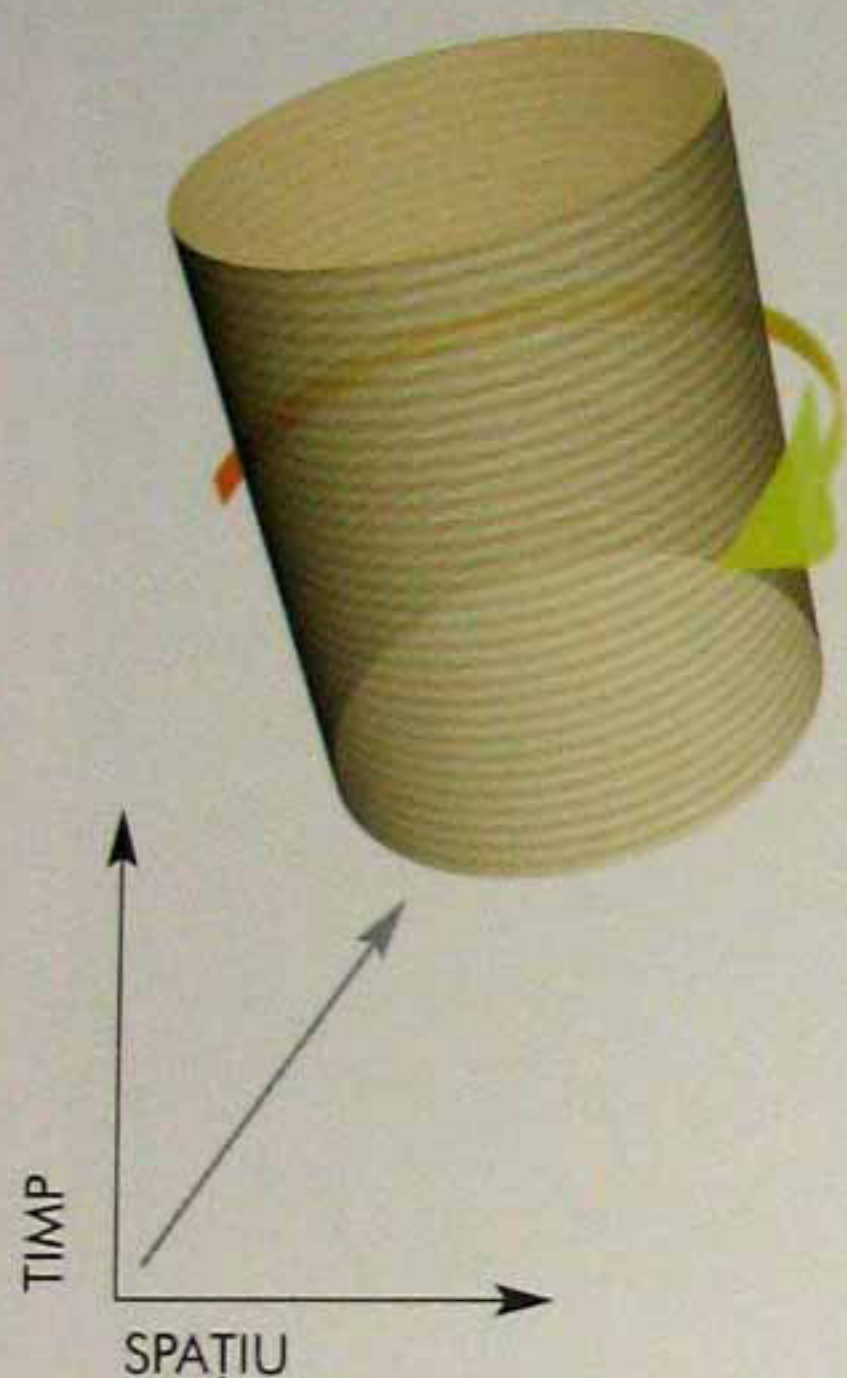
le lor indirecte au fost însă măsurate în mai multe experimente. Unul dintre ele e ușoara deplasare în spectrul luminii emise de atomii de hidrogen, efect provocat de electronii care se mișcă pe bucle închise. Un alt efect e slaba forță ce apare între două plăci metalice paralele, provocată de faptul că în regiunea dintre plăci există un număr mai mic de istorii în formă de bucle închise decât în spațiul exterior — o interpretare echivalentă a efectului Casimir. Existența istoriilor în formă de bucle închise e deci confirmată experimental (Fig. 5.15).

E de discutat dacă într-adevăr istoriile particulelor în formă de buclă închisă au legătură cu distorsionarea spațiu-timpului, fiindcă ele apar chiar și pe fundaluri fixe, cum e un spațiu plat. Dar în anii din urmă s-a văzut că fenomenele din fizică admit adesea descrieri alternative la fel de valabile. Putem spune fie că particula se mișcă pe bucle închise pe un fundal fix, fie că particula e fixă, iar spațiul și timpul fluctuează în jurul

Fig. 5.15







(Fig. 5.16)

Universul Einstein e ca un cilindru: este finit în spațiu și constant în timp. Datorită dimensiunii finite, el se poate roti cu o viteză care e pretutindeni mai mică decât viteza luminii.

ei. E vorba doar de a însuma mai întâi traiectoriile particulelor și apoi spațiu-timpurile curbe sau invers.

Se pare deci că teoria cuantică permite călătoria în timp la scară microscopică. Aceasta nu ajută însă prea mult scopurilor științifico-fantastice, cum e cel de a vă întoarce în timp și a vă ucide bunicul. Întrebarea devine atunci: e posibil ca probabilitatea în suma istoriilor să aibă valori mari în jurul unor spațiu-timpuri cu bucle temporale macroscopice?

Putem examina problema studiind suma istoriilor câmpurilor materiale pentru o serie de fundaluri spațio-temporale a căror structură se apropie tot mai mult de posibilitatea de a admite bucle temporale. Ne-am aștepta să se întâmple ceva dramatic când apar bucle temporale, idee născută dintr-un exemplu simplu pe care l-am studiat împreună cu studentul meu Michael Cassidy.

Spațiu-timpurile fundal din seria pe care am studiat-o erau strâns legate de ceea ce se numește univers Einstein, spațiu-timpul propus de Einstein când credea că universul e static și neschimbat în timp, fără dilatare sau contracție (vezi capitolul 1). În universul Einstein timpul se scurge de la trecutul infinit către viitorul infinit. Dimensiunile spațiale sînt însă finite și închise în ele însele, ceva în genul suprafeței Pământului, dar cu o dimensiune în plus. Putem reprezenta acest spațiu-timp sub forma unui cilindru cu axa în direcția timpului, secțiunea transversală reprezentînd cele trei direcții spațiale (Fig. 5.16).

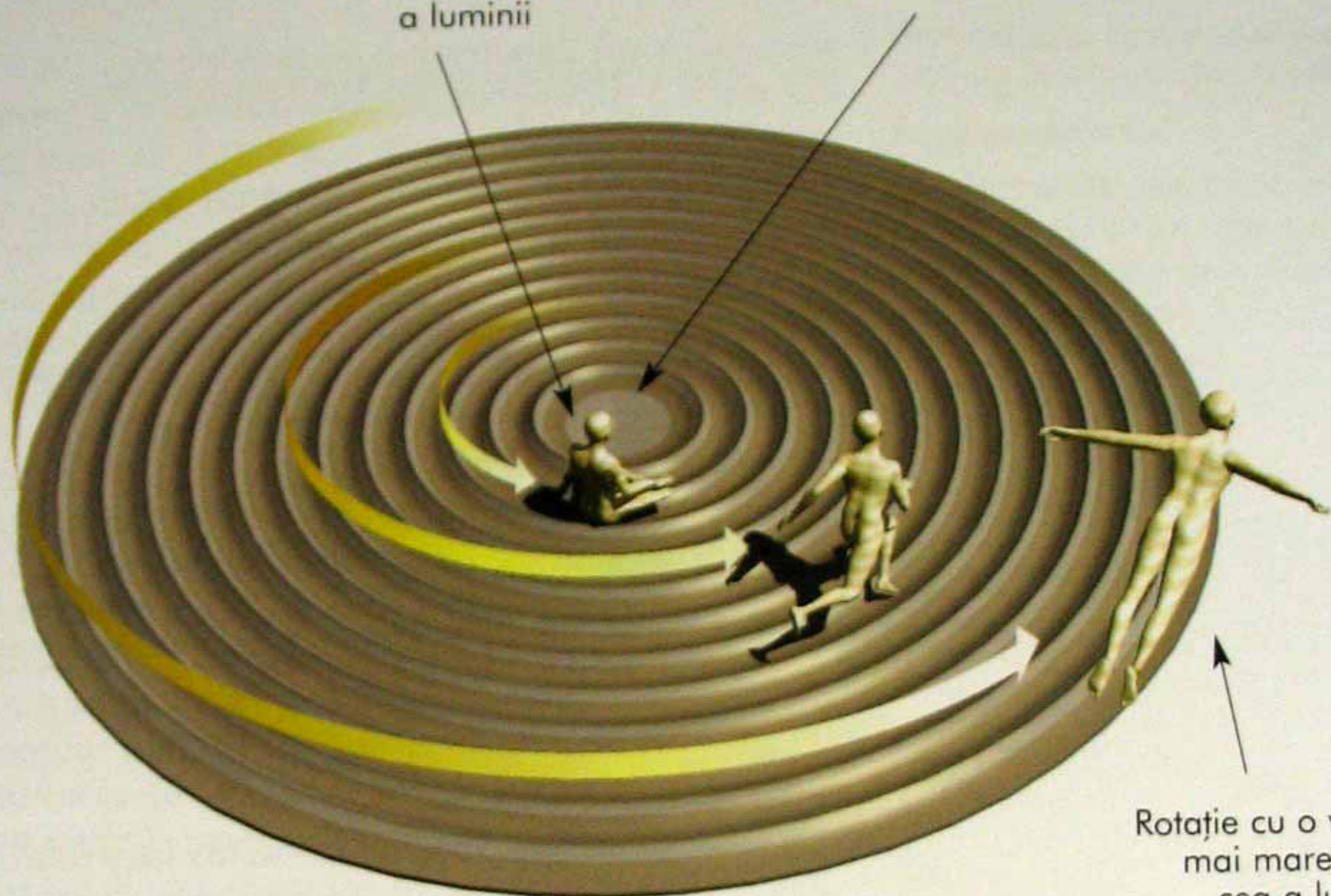
Universul Einstein nu e universul în care trăim, fiindcă nu e în expansiune. El reprezintă totuși un fundal util pentru a discuta călătoria în timp, fiindcă e suficient de simplu pentru a efectua suma istoriilor. Să uităm pentru moment de călătoria în timp și să considerăm materia dintr-un univers Einstein în rotație în jurul unei axe. Dacă v-ați afla pe axa de rotație, ați rămîne în același punct din spațiu, la fel cum se întîmplă în centrul unui carusel. Dacă nu sînteți însă pe axa de rotație, v-ați mișca prin spațiu rotindu-vă în jurul axei. Cu cît vă aflați mai departe de axă, cu atît vă mișcați mai repede. Deci, dacă universul ar fi infinit în spațiu, punctele suficient de depărtate de axa de rotație ar trebui să aibă o viteză mai mare decât cea a luminii. Dar, fiindcă universul Einstein e finit în direcțiile spațiale, există o viteză de rotație critică, sub care nici o parte a universului nu se rotește cu viteză mai mare decât cea a luminii.



ROTAȚIE ÎN SPAȚIUL PLAT

Rotație cu o viteză mai mică decât cea a luminii

Axa de rotație



Rotație cu o viteză mai mare decât cea a luminii

Să considerăm acum suma istoriilor particulelor într-un univers Einstein în rotație. Dacă rotația e lentă, există multe traiectorii pe care o particulă se poate deplasa folosind o cantitate dată de energie. Astfel, suma istoriilor particulei în acest fundal va da o contribuție mare. Rezultă că probabilitatea acestui fundal va fi mare în cadrul sumei tuturor istoriilor spațiu-timpurilor curbe — adică se numără printre cele mai probabile istorii. Dar, pe măsură ce viteza de rotație a universului Einstein se apropie de valoarea critică, astfel încât regiunile periferice se mișcă cu viteze apropiate de cea a luminii, există doar o singură traiectorie clasic permisă în aceste regiuni — cea corespunzând mișcării cu viteza luminii. Rezultă că suma istoriilor particulei va fi mică. Probabilitatea acestor fundaluri va fi deci mică în cadrul sumei tuturor istoriilor spațiu-timpurilor curbe, ceea ce înseamnă că ele sînt mai puțin probabile.

Ce au a face universurile Einstein în rotație cu călătoria în timp și bucele temporale? Răspunsul e că, matematic, ele sînt

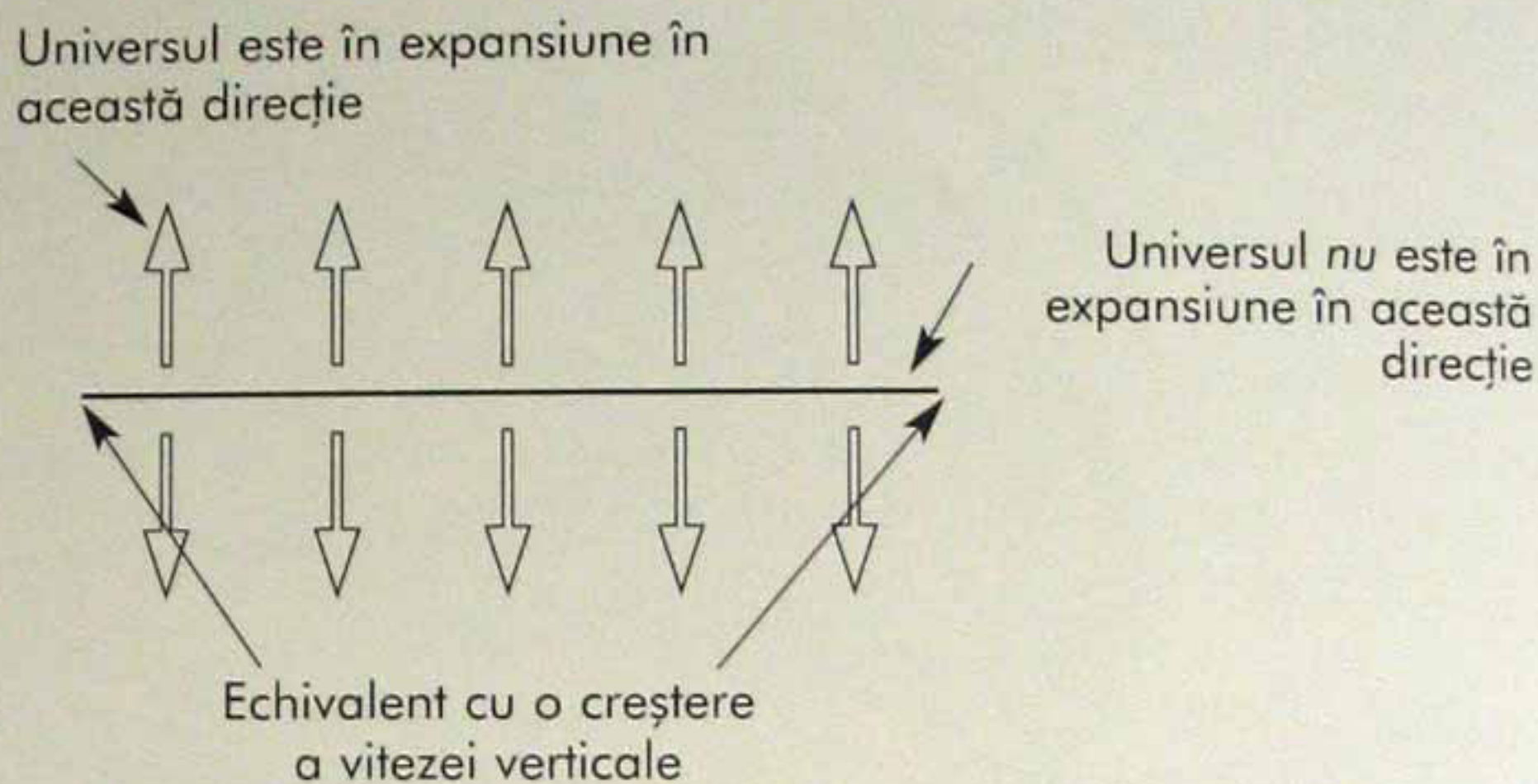
(Fig. 5.17)

În spațiul plat, o rotație rigidă va fi mai rapidă decât lumina la o distanță mare de axa de rotație.





(Fig. 5.18) FUNDAL CU CURBE TEMPORALE ÎNCHISE



echivalente cu alte fundaluri care admit bucle temporale. Aceste fundaluri reprezintă universuri aflate în expansiune pe două direcții spațiale. Ele nu sînt în expansiune pe a treia direcție spațială, care e periodică. Altfel spus, dacă mergi o anumită distanță în această direcție, te întorci de unde ai plecat. De fiecare dată însă cînd faci o tură completă în a treia direcție spațială, viteza în primele două direcții crește (Fig. 5.18).

Dacă creșterea e mică, nu există bucle temporale. Să considerăm însă un șir de fundaluri cu o creștere tot mai mare a vitezei. La o anumită valoare critică a creșterii, vor apărea bucle temporale. Nu e surprinzător că această valoare critică corespunde vitezei critice de rotație a universurilor Einstein. Cum calculele

sumelor istoriilor pe aceste fundaluri sînt matematic echivalente, putem trage concluzia că probabilitatea acestor funda-







luri tinde către zero pe măsură ce deformarea lor se apropie de cea cerută pentru existența buclelor temporale. Cu alte cuvinte, probabilitatea de a avea o distorsionare suficient de mare pentru o mașină a timpului este zero. Aceasta vine să confirme ceea ce eu am numit Conjectura Protecției Cronologice: legile fizicii conspiră pentru a împiedica obiectele macroscopice să călătorească în timp.

Deși buclele temporale sînt permise de suma istoriilor, probabilitățile lor sînt extrem de mici. Pe baza argumentelor dualității, menționate mai sus, estimez că probabilitatea ca Kip Thorne să se poată întoarce în trecut și să-și ucidă bunicul e mai mică decît unu la zece urmat de un trilion de trilioane de trilioane de trilioane de zerouri.

E o probabilitate cam mică dar, dacă vă uitați atent la poza lui Kip, puteți vedea o ușoară neclaritate pe margini. Ea corespunde minusculei posibilități ca vreun ticălos din viitor să se întoarcă în timp și să-și ucidă bunicul, așa încît de fapt el nici să nu fie acolo.

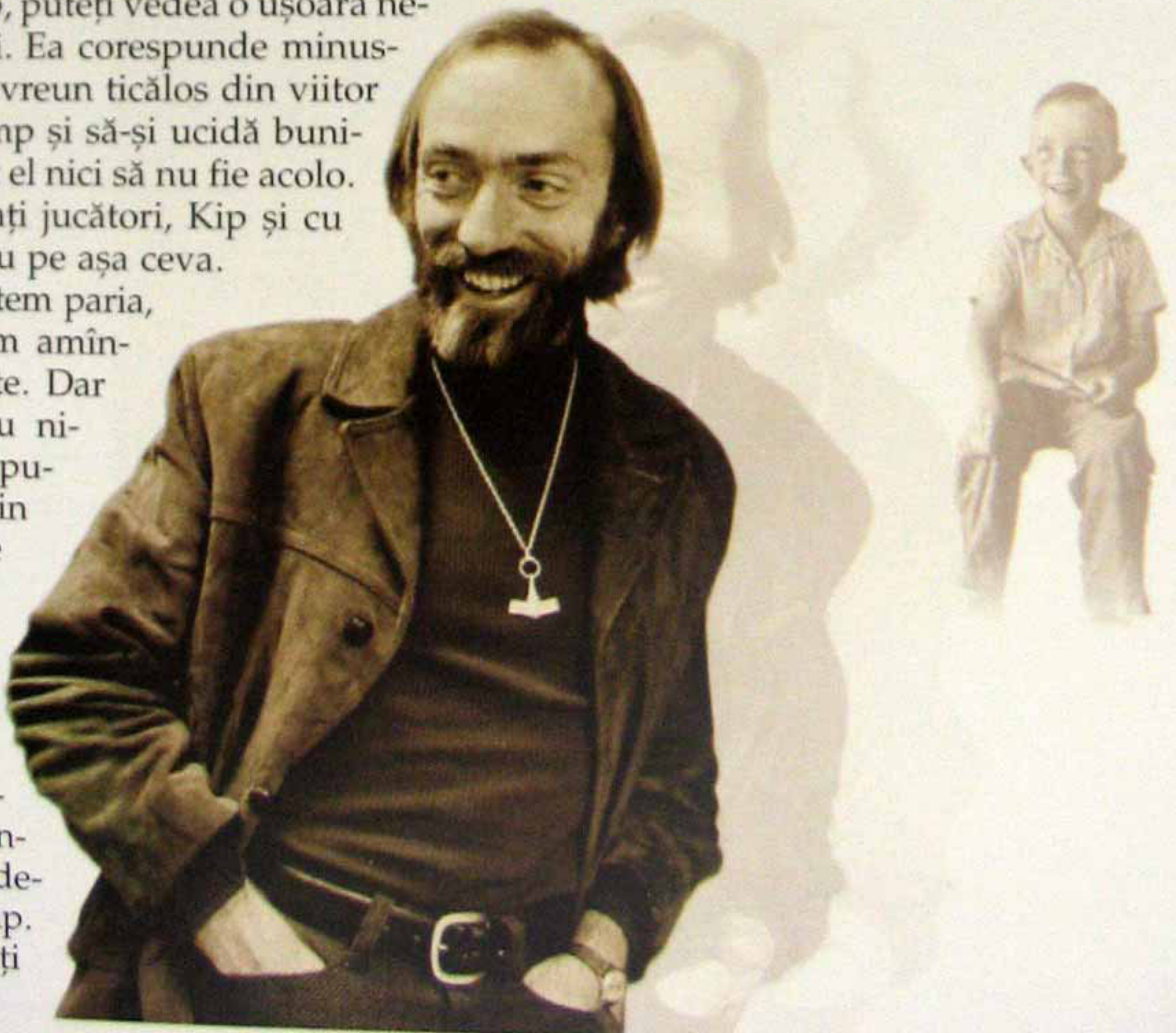
Ca niște adevărați jucători, Kip și cu mine am pune pariu pe așa ceva.

Necazul e că nu putem paria, fiindcă acum sîntem amîndoi de aceeași parte. Dar n-aș pune pariu cu nimeni altcineva. Ar putea să fie venit din viitor și să știe că e posibilă călătoria în timp.

Vă puteți întreba dacă nu cumva acest capitol face parte din tactica guvernului de a ascunde ceea ce se știe despre călătoria în timp. S-ar putea să aveți dreptate.

*Probabilitatea ca Kip să se poată întoarce în timp și să-și ucidă bunicul este  $1/10^{10^{60}}$ .*

*Cu alte cuvinte, mai puțin de unu la zece urmat de un trilion de trilioane de trilioane de trilioane de zerouri.*

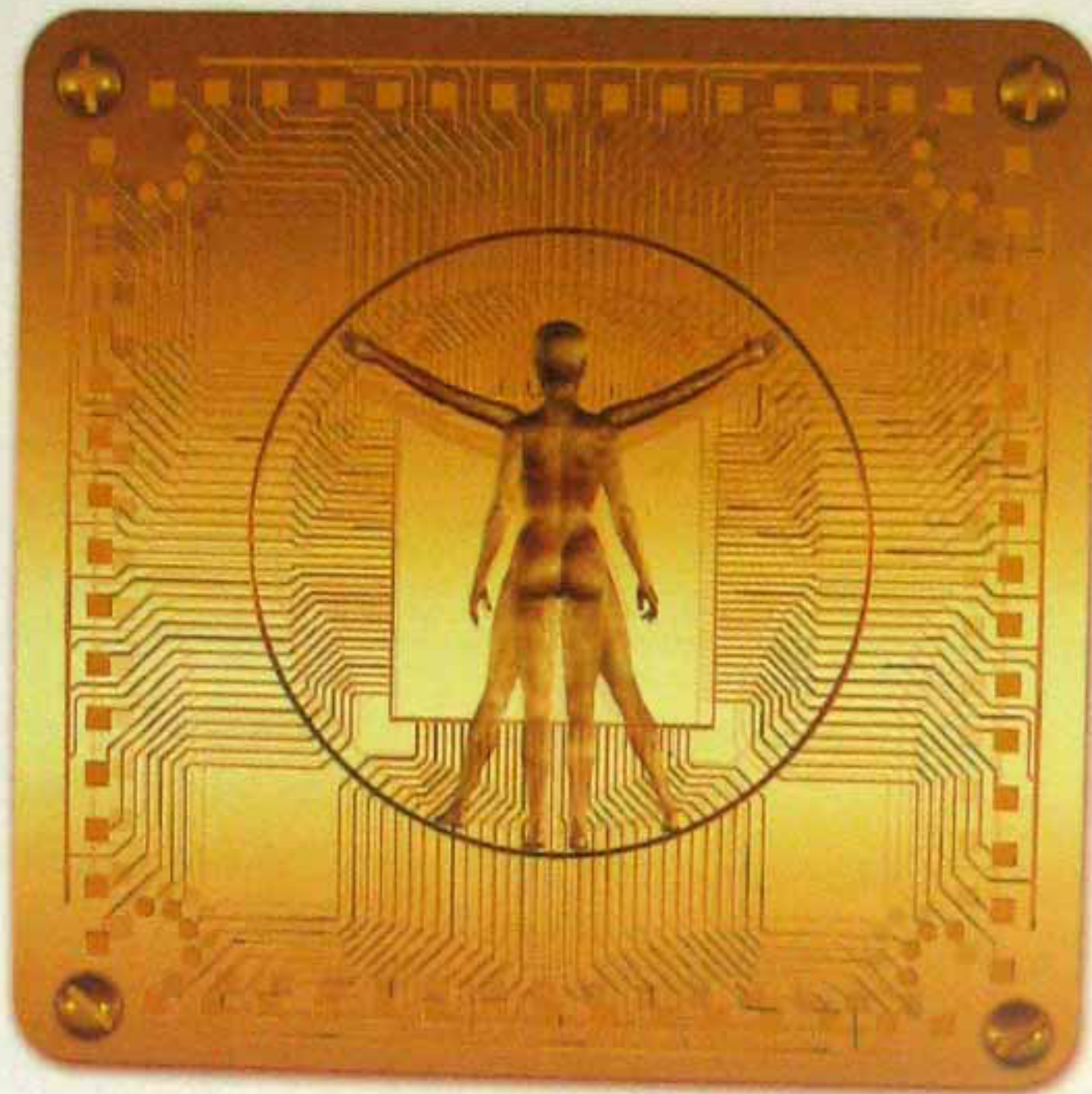




## CAPITOLUL 6

# Va fi sau nu ca în *Star Trek* viitorul nostru?

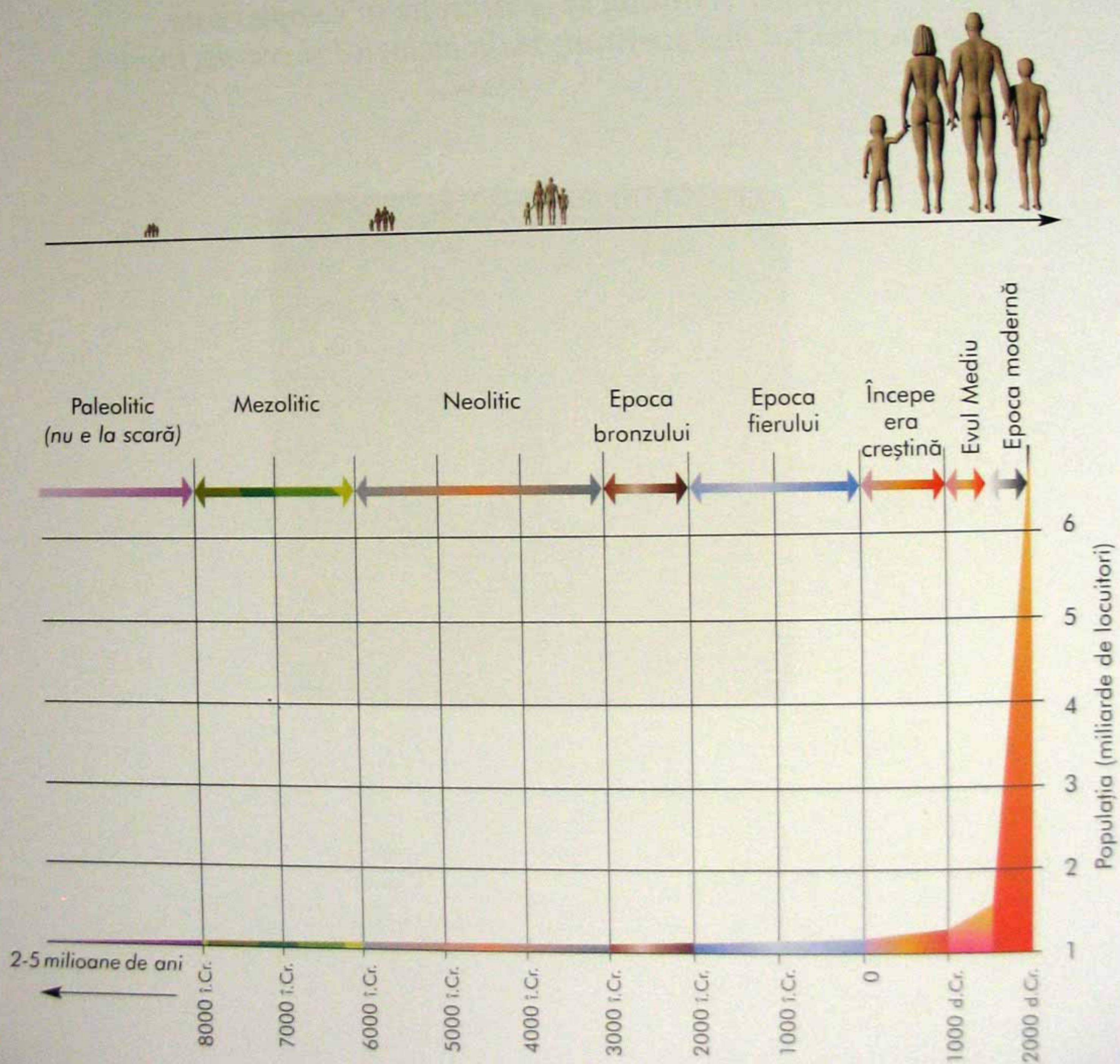
*Cum vor continua să se dezvolte în complexitate,  
într-un ritm tot mai susținut, viața biologică și cea electronică.*







(Fig. 6.1) CREȘTEREA POPULAȚIEI







*Newton, Einstein, Comandantul Data și cu mine jucând poker într-o scenă din Star Trek.*

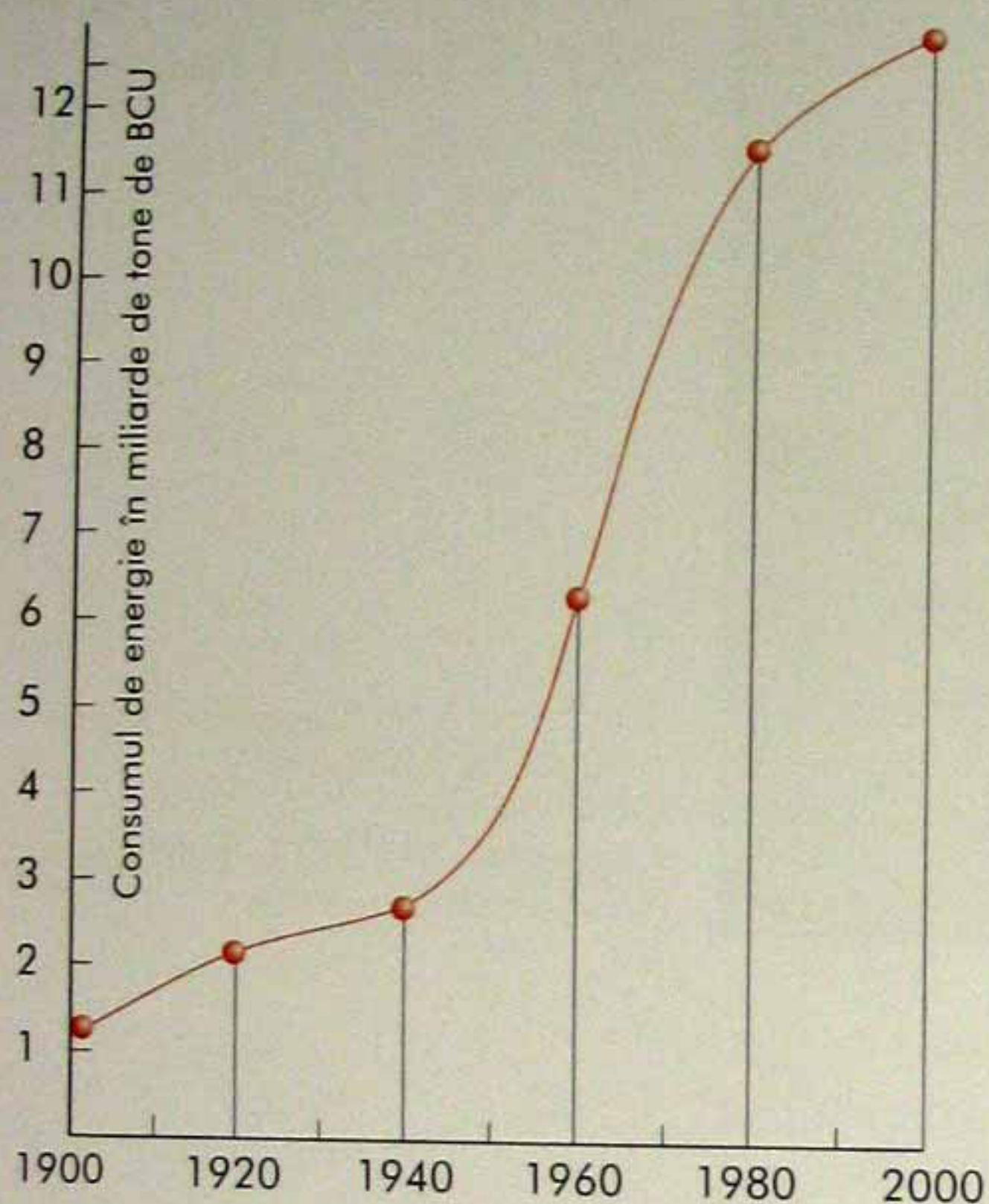
Prin amabilitatea Paramount Pictures  
STAR TREK: THE NEXT  
GENERATION  
Copyright © 2001, Paramount Pictures  
Toate drepturile rezervate

**M**otivul pentru care *Star Trek* e atât de popular ține de faptul că oferă o perspectivă sigură și optimistă asupra viitorului. Eu însumi sînt oarecum fan *Star Trek*, așa că am fost ușor de convins să apar într-un episod în care am jucat poker cu Newton, Einstein și Comandantul Data. I-am bătut pe toți, dar, din păcate, o alarmă de gradul zero m-a împiedicat să-mi mai recuperez vreodată câștigul.

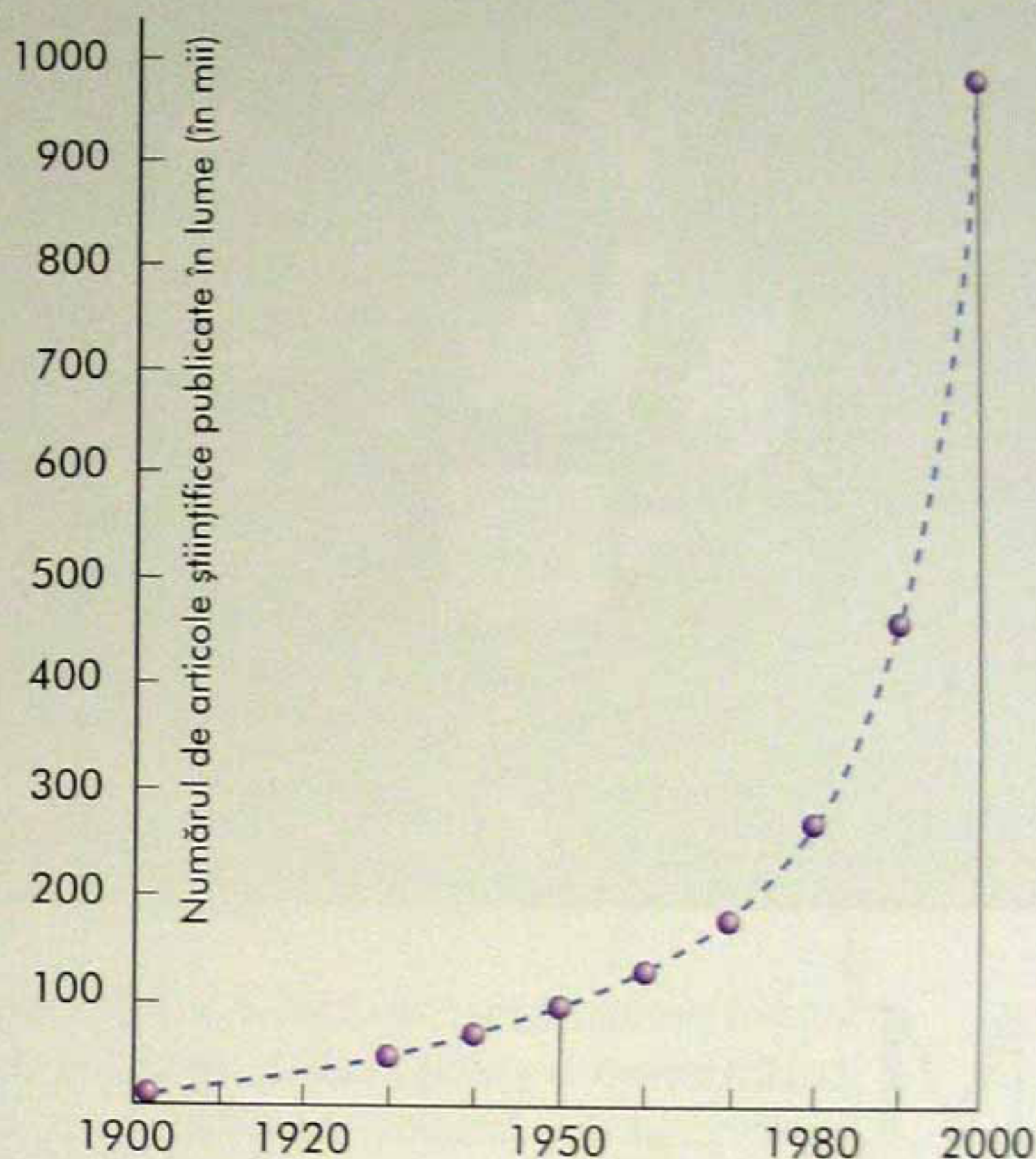
*Star Trek* prezintă o societate mult mai avansată științific, tehnologic și politic decît a noastră. (În privința politicii nu-i prea greu.) Multe schimbări, însoțite de tensiuni și tulburări, trebuie să fi avut loc între timp, dar se presupune că știința, tehnologia și organizarea societății au atins un nivel apropiat de perfecțiune.

Vreau să pun în discuție această imagine, întrebîndu-mă dacă vom atinge vreodată un stadiu final staționar în știință și tehnologie. Niciînd în cei aproximativ zece mii de ani de la ultima eră glaciara, rasa umană nu a trecut printr-o asemenea stagnare în cunoaștere și tehnologie. Au existat cîteva perioade de regres, cum ar fi Epoca Întunecată, după căderea Imperiului Roman. Dar populația Terrei, care e o măsură a capacității noastre tehnologice de a proteja viața și de a ne hrăni, a crescut continuu, cu anumite reculuri, cum ar fi cele provocate de epidemiile de ciumă (Fig. 6.1).





CONSUMUL MONDIAL DE ELECTRICITATE



PUBLICAREA DE ARTICOLE ȘTIINȚIFICE LA NIVEL MONDIAL

(Fig. 6.2)

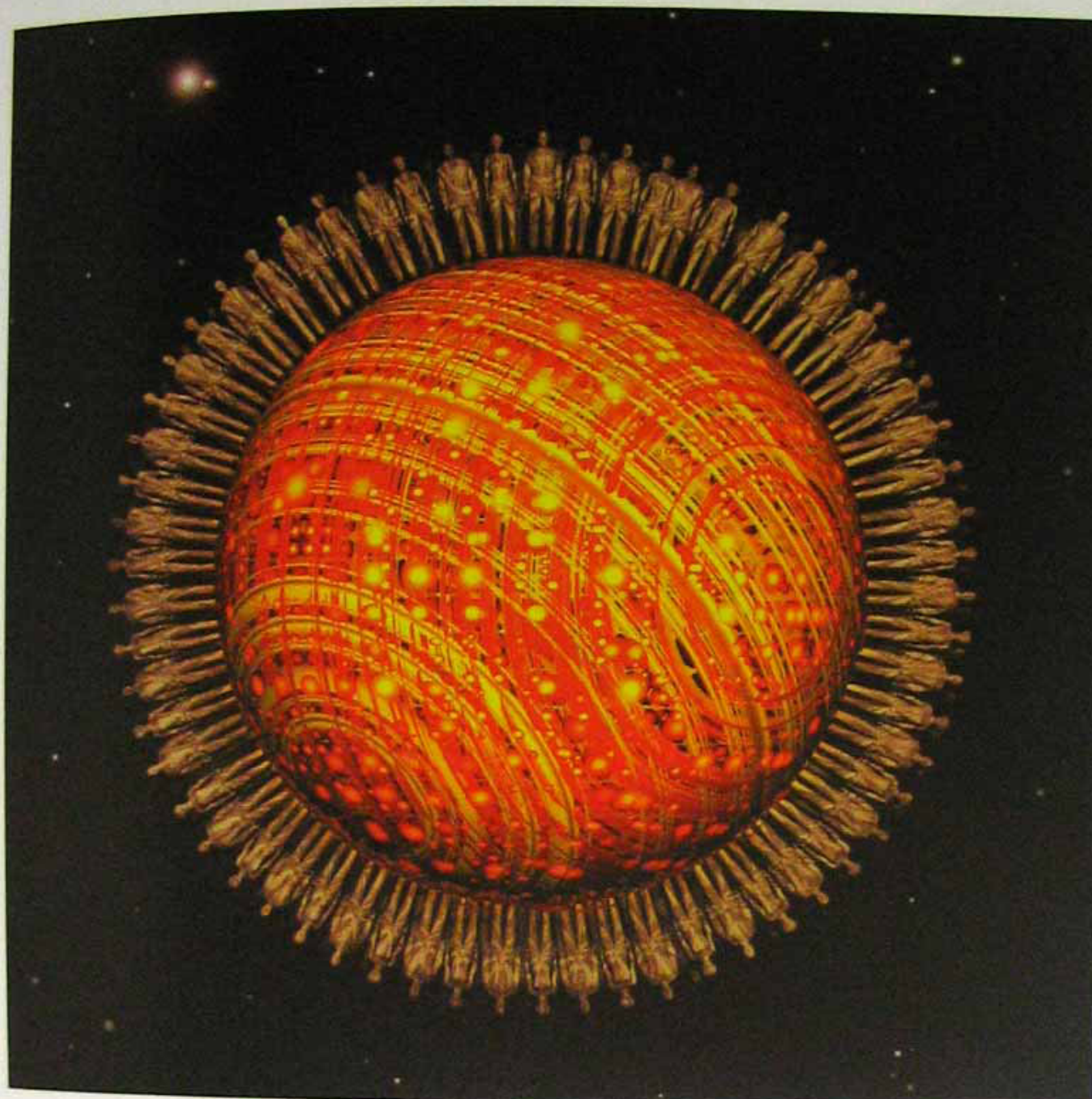
**Stînga:** Consumul mondial de energie în miliarde de tone de BCU, unde 1 tonă de Unitate de Cărbune Bituminos (Bituminous Coal Unit) = 8,13 MW-oră.

**Dreapta:** Numărul de articole științifice publicate anual. Scara verticală este etalonată în mii de articole. În 1900 erau 9 000. În 1950 erau 90 000, iar în 2000 erau 900 000.

În ultimele două sute de ani, creșterea populației a devenit exponențială, ceea ce înseamnă că populația crește cu același procent în fiecare an. În prezent, rata de creștere este de aproximativ 1,9 procente pe an. Poate că nu pare mult, dar asta înseamnă că populația globului se dublează la fiecare 40 de ani (Fig. 6.2).

Alte măsuri ale dezvoltării tehnologice actuale sînt consumul de curent electric și numărul de articole științifice publicate. Ele au de asemenea o creștere exponențială, cu o dublare la chiar mai puțin de 40 de ani. Nu există vreun semn că dezvoltarea științifică și tehnologică va fi încetinită sau stopată în viitorul apropiat — oricum cu siguranță nu pînă în epoca lui *Star Trek*, de care se presupune că nu ne desparte prea mult timp. Dar, dacă populația globului și consumul de energie electrică vor crește în ritmul actual, în 2600 locuitorii Pămîntului vor sta umăr la umăr, iar electricitatea folosită va transforma Pămîntul într-un glob incandescent (vezi ilustrația de la pag. 159).



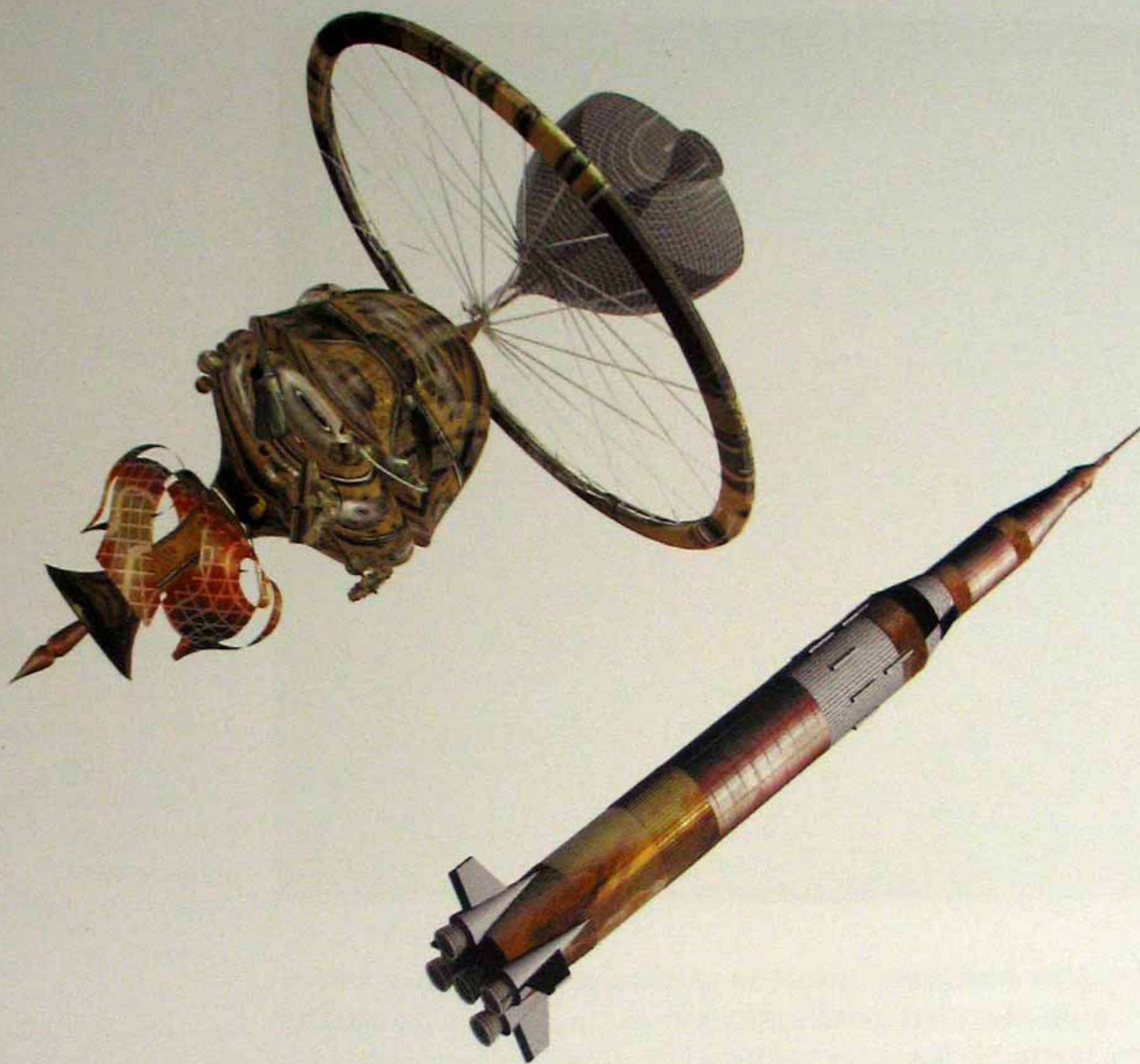


*Pe la 2600, populația lumii ar ajunge să stea umăr la umăr, iar consumul de electricitate ar transforma Pământul într-un glob incandescent.*

Dacă ați pune una lângă alta cărțile noi care apar, ar trebui să vă mișcați cu 150 de km pe oră ca să țineți pasul cu capătul stivei. Sigur, aproximativ 2600 de lucrări științifice și culturale apar în format electronic, nu sub formă de cărți sau articole tipărite. Dacă însă această creștere exponențială va continua, vor apărea zece lucrări pe secundă numai în domeniul meu din fizica teoretică, și nu va mai fi timp să le citești.

Evident, această creștere exponențială nu va putea continua la nesfârșit. Și atunci, ce se va întâmpla? O posibilitate ar fi să ne autodistrugem printr-un dezastru, cum ar fi un război nuclear. Un banc macabru spune că motivul pentru care nu am fost contactați de extraterestri e că, atunci când o civilizație atinge stadiul nostru de dezvoltare, devine instabilă și se autodistruge. Eu sînt însă optimist. Nu cred că rasa umană a ajuns atît de departe pentru a se sinucide tocmai cînd lucrurile devin mai interesante.





(Fig. 6.3)

Povestea din *Star Trek* se învîrte în jurul navei *Enterprise* și a navelor spațiale precum cele de mai sus, în stare să călătorească cu viteze supraluminoase. Însă, dacă Conjectura Protecției Cronologice e corectă, va trebui să explorăm galaxia folosind nave spațiale propulsate de motoare cu reacție, ce călătoresc mai încet decît lumina.

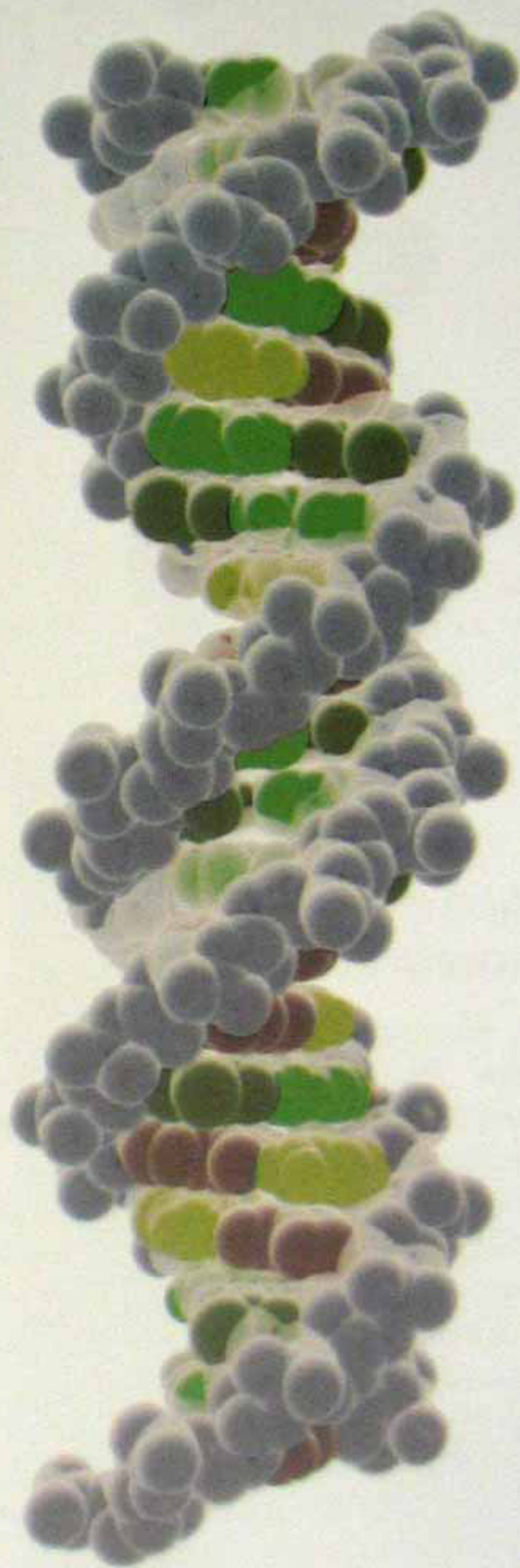
Viziunea din *Star Trek* asupra viitorului — conform căreia vom atinge un nivel avansat, dar staționar — poate deveni realitate, în privința cunoștințelor noastre despre legile fundamentale ce guvernează universul. Așa cum voi arăta în capitolul următor, ar putea exista o teorie finală pe care o vom descoperi într-un viitor nu prea îndepărtat. Această teorie finală, presupunînd că există, ne va spune dacă visul din *Star Trek* de a călători cu viteze supraluminoase e realizabil. După cîte știm acum, va trebui să explorăm lent și greoi galaxia, folosind nave spațiale care călătoresc mai încet decît lumina, dar, cum nu avem încă o teorie completă și unificată, nu putem exclude cu desăvîrșire călătoria la viteze supraluminoase (Fig. 6.3).



Pe de altă parte, cunoaștem deja legile care stăpînesc totul, cu excepția condițiilor extreme: legile care guvernează echipajul de pe *Enterprise*, dacă nu nava spațială însăși. Se pare însă că nu vom atinge niciodată limita folosirii acestor legi sau a complexității sistemelor pe care le putem crea cu ele. Despre această complexitate va fi vorba în capitolul de față.

De departe cele mai complexe sisteme pe care le avem la dispoziție sînt propriile noastre trupuri. Viața pare să-și aibă originile în oceanele primordiale care acopereau Pămîntul acum patru miliarde de ani. Nu știm cum s-au petrecut lucrurile. Poate că prin ciocnirile întîmplătoare dintre atomi s-au constituit macromolecule capabile să se autoreproducă și să se asambleze în structuri și mai complicate. Ceea ce știm e că acum vreo trei miliarde și jumătate de ani a apărut complicata moleculă de ADN.

ADN-ul stă la baza vieții de pe Pămînt. El are o structură elicoidală dublă, asemănătoare unei scări în spirală, și a fost descoperit de Francis Crick și James Watson la Cambridge, în laboratorul Cavendish, în 1953. Cele două laturi ale dublei spirale sînt legate prin perechi de baze, asemănătoare treptelor unei scări în spirală. Există patru baze în ADN: adenina, guanina, tiamina și citozina. Ordinea în care apar ele de-a lungul spiralei codifică informația genetică și permite ADN-ului să înglobeze toată informația de care un organism are nevoie pentru a se dezvolta și a se reproduce. Deoarece ADN-ul se autocopiază cu fiecare diviziune celulară, e posibil ca din cînd în cînd să apară erori în proporția sau ordinea bazelor de-a lungul spiralei. În cele mai multe cazuri, erorile apărute la copiere fac ca ADN-ul să devină incapabil sau mai puțin apt să se reproducă, așa încît asemenea erori genetice, sau mutații, cum se mai numesc, sînt eliminate. Există însă și cazuri în care eroarea sau mutația sporește șansele de supraviețuire și reproducere ale ADN-ului. Astfel de schimbări în codul genetic vor fi favorizate. În felul acesta informația conținută în secvența de ADN evoluează treptat și crește în complexitate (Fig. 6.4).





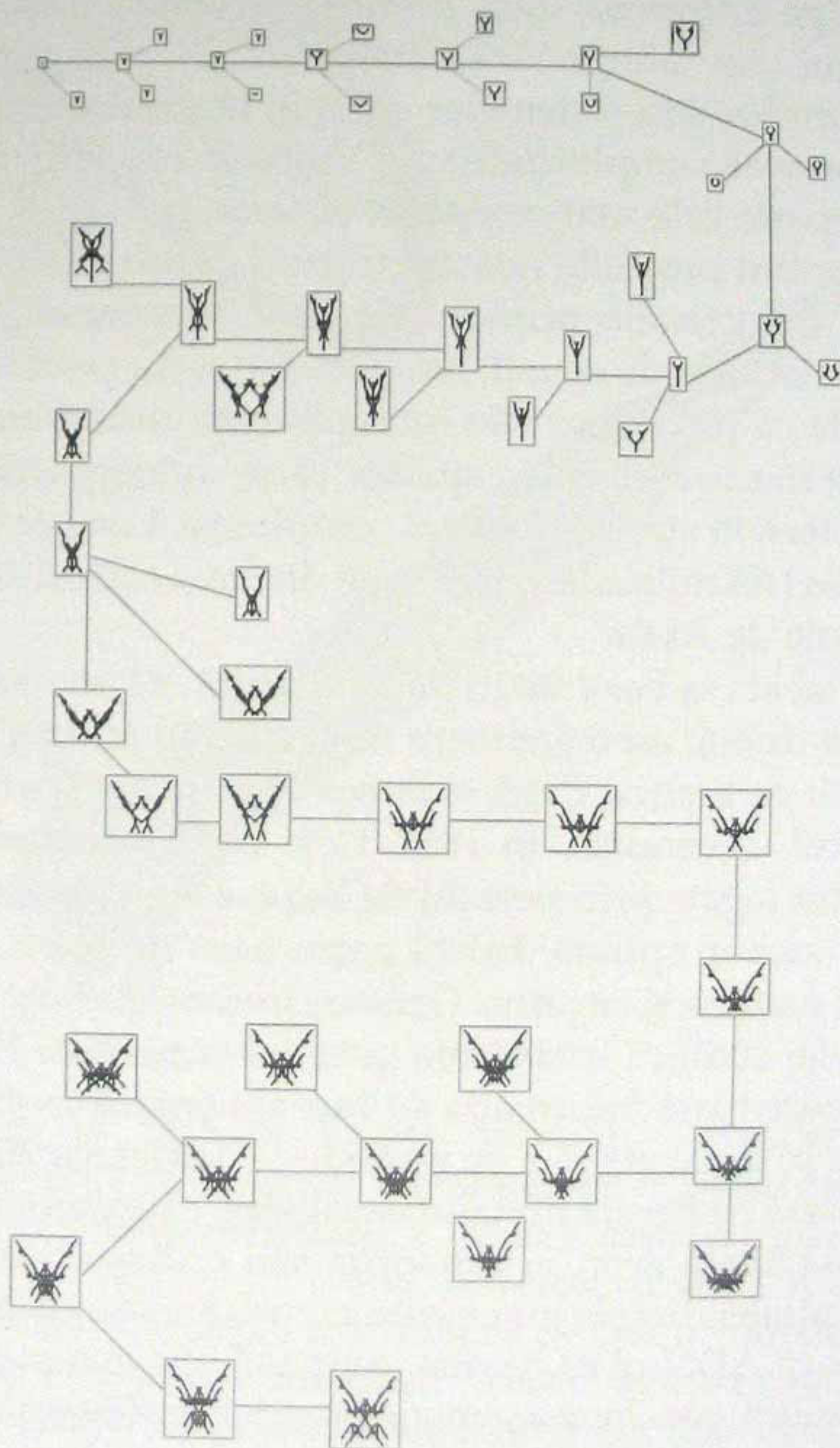


(Fig. 6.4)  
EVOLUȚIA ÎN ACȚIUNE

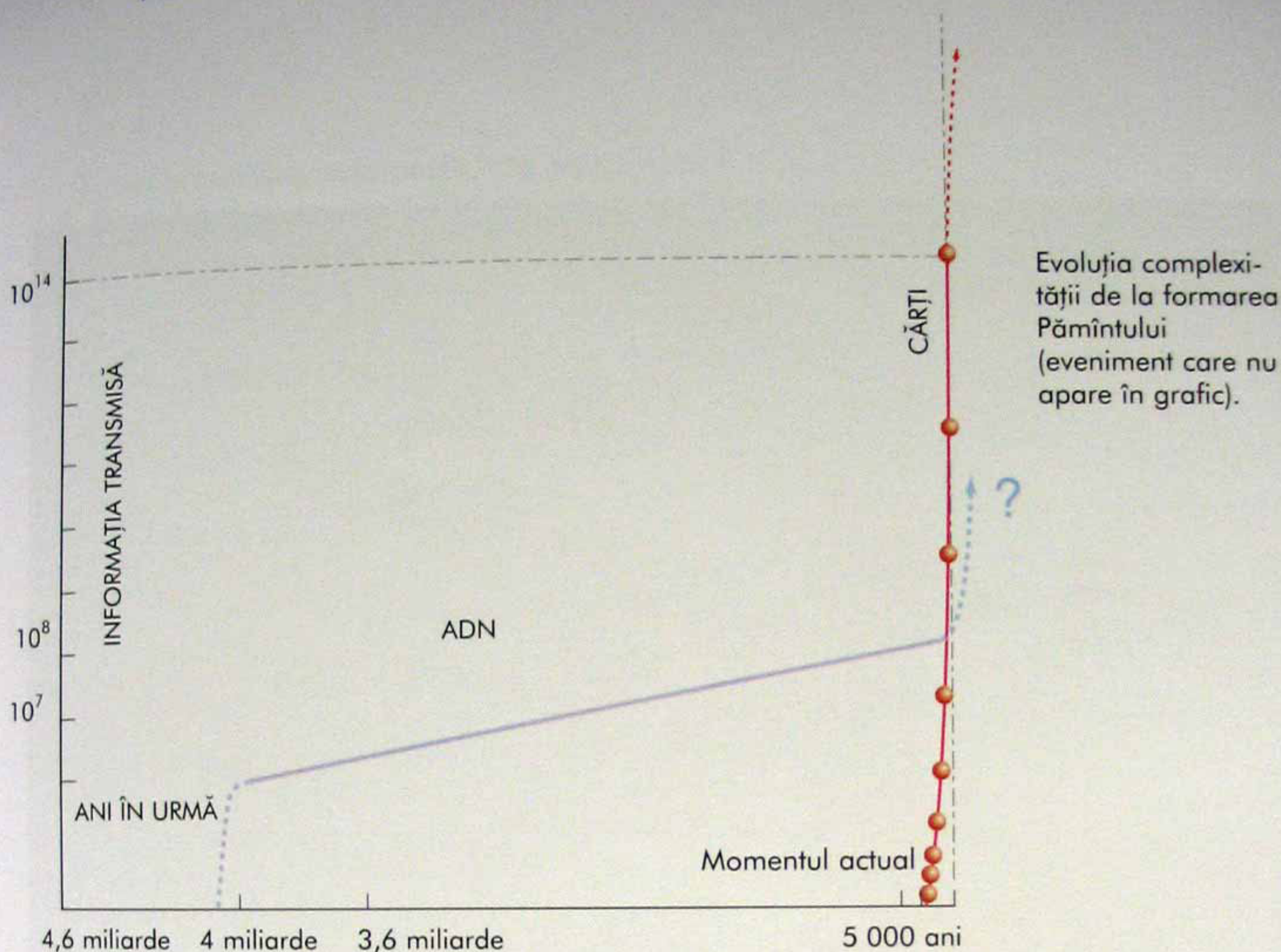
În dreapta e prezentată evoluția unor „biomorfe” generate pe calculator, într-un program creat de biologul Richard Dawkins.

Supraviețuirea unui anumit descendent depinde de calități simple ale sale cum ar fi dacă e „interesant”, „diferit” sau „cu aspect de insectă”.

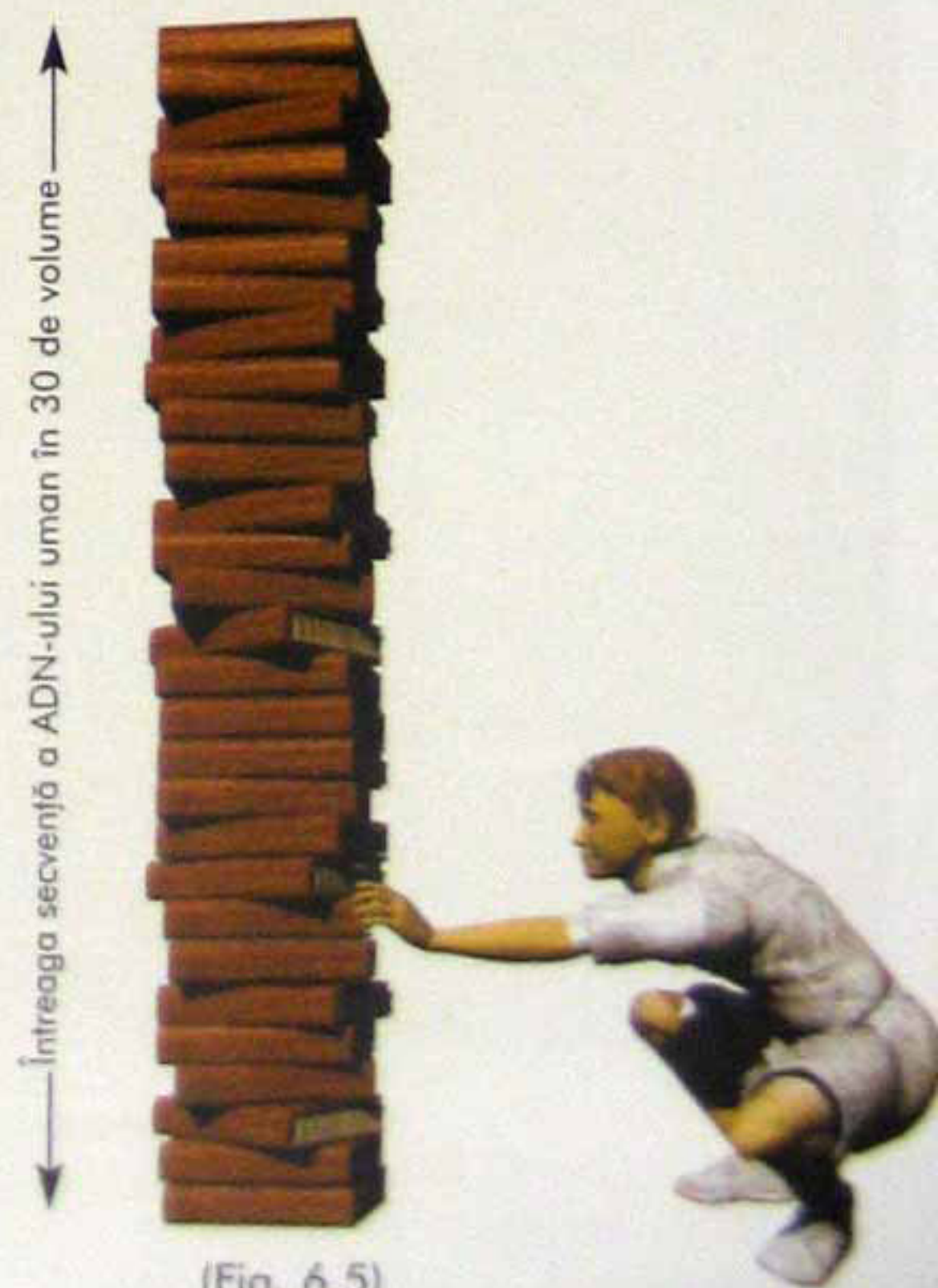
Pornind de la un singur pixel, generațiile inițiale aleatoare se dezvoltă printr-un proces similar selecției naturale. Dawkins a obținut o formă asemănătoare insectelor în numai 29 de generații (cu un număr de fundături evolutive).







Deoarece evoluția biologică e esențialmente o mișcare aleatoare în spațiul tuturor posibilităților genetice, ea a fost foarte lentă. Complexitatea, sau numărul de biți de informație conținută în ADN, este în principiu dată de numărul de baze din macromoleculă. În primele aproximativ două miliarde de ani, ritmul creșterii în complexitate trebuie să fi fost de ordinul unui bit de informație la fiecare sută de ani. Ritmul de creștere a complexității ADN-ului s-a mărit treptat la aproximativ un bit pe an, în decursul ultimelor câteva milioane de ani. Dar în urmă cu șase sau opt mii de ani s-a petrecut o nouă transformare majoră. Am inventat limbajul scris. Informația putea fi deci transmisă de la o generație la alta fără a mai fi nevoiți să așteptăm ca lentul proces al mutațiilor aleatoare și al selecției naturale să codifice informația în secvența de ADN. Complexitatea a crescut enorm. Un singur roman poate conține tot atâta informație cât diferența dintre ADN-ul maimuțelor și cel al oamenilor, iar o enciclopedie în treizeci de volume ar putea descrie întregul ADN uman (Fig. 6.5).







Dezvoltarea embrionilor în afara corpului uman  
va permite un creier mai mare și o inteligență sporită.





Și mai important, informația din cărți poate fi înnoită rapid. Ritmul curent la care ADN-ul uman se reînnoiește prin evoluția biologică este de aproximativ un bit pe an. Există însă 200 000 de cărți noi publicate anual, reprezentând o informație nouă de peste un milion de biți pe secundă. Desigur, cea mai mare parte e maculatură, dar fie și dacă doar un bit dintr-un milion e util, ritmul e de o sută de mii de ori mai mare decât cel dat de evoluția biologică.

Această transmitere a informației pe căi externe, nebiologice, a permis rasei umane să domine lumea și să aibă o creștere exponențială a populației. Ne aflăm acum la începutul unei noi ere, în care vom fi capabili să creștem complexitatea propriului ADN, fără a mai fi nevoiți să așteptăm lentul proces al evoluției biologice. Nu au apărut schimbări semnificative în ADN-ul uman în ultimii zece mii de ani, dar e probabil să fim în stare să-l reproiectăm complet în următoarea mie de ani. Desigur, mulți vor spune că ingineria genetică aplicată pe oameni trebuie interzisă, dar e îndoielnic că vor reuși s-o împiedice. Ingineria genetică pe plante și animale va fi permisă din motive economice, dar va exista cineva care să treacă hotarul și s-o încerce pe oameni. Dacă nu va apărea cumva o ordine mondială totalitară, iar cineva, cândva, undeva, va proiecta ființe umane îmbunătățite.

Evident, crearea unor ființe umane îmbunătățite va genera mari probleme sociale și politice în privința ființelor umane neîmbunătățite. Nu vreau să spun că ingineria genetică umană e de dorit, ci doar că e probabil să apară independent de voința noastră. Acesta e motivul pentru care nu cred într-o ficțiune gen *Star Trek*, în care oamenii din viitor, aflați la patru sute de ani distanță de noi, sînt în mod esențial identici cu cei de azi. Cred că rasa umană și ADN-ul său vor crește în complexitate foarte rapid. Trebuie să recunoaștem că așa vor sta lucrurile și să ne gîndim cum să facem față situației.

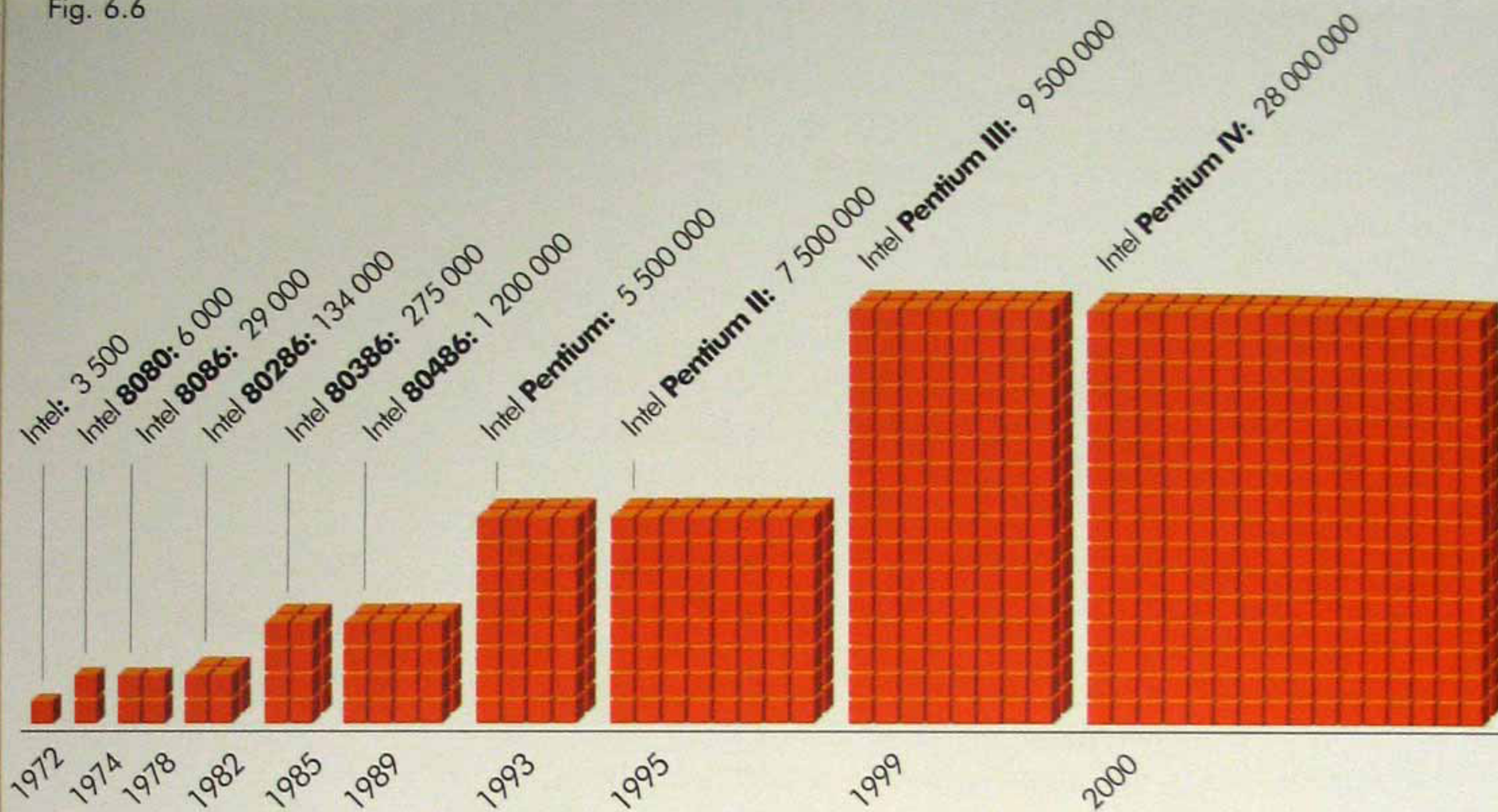
Într-un fel, rasa umană are nevoie să-și îmbunătățească însușirile mentale și fizice pentru a face față unei lumi tot mai complexe și provocărilor cum ar fi călătoria spațială. Oamenii au de asemenea nevoie să-și sporească nivelul de complexitate pentru ca sistemele biologice să țină pasul cu cele electronice. În prezent, calculatoarele au avantajul vitezei, dar nu dau semne de inteligență. Nu e surprinzător, deoarece calculatoarele din ziua de azi sînt mai puțin complexe decât creierul unei rîme, specie care nu s-a făcut remarcată pentru capacitatea ei intelectuală.



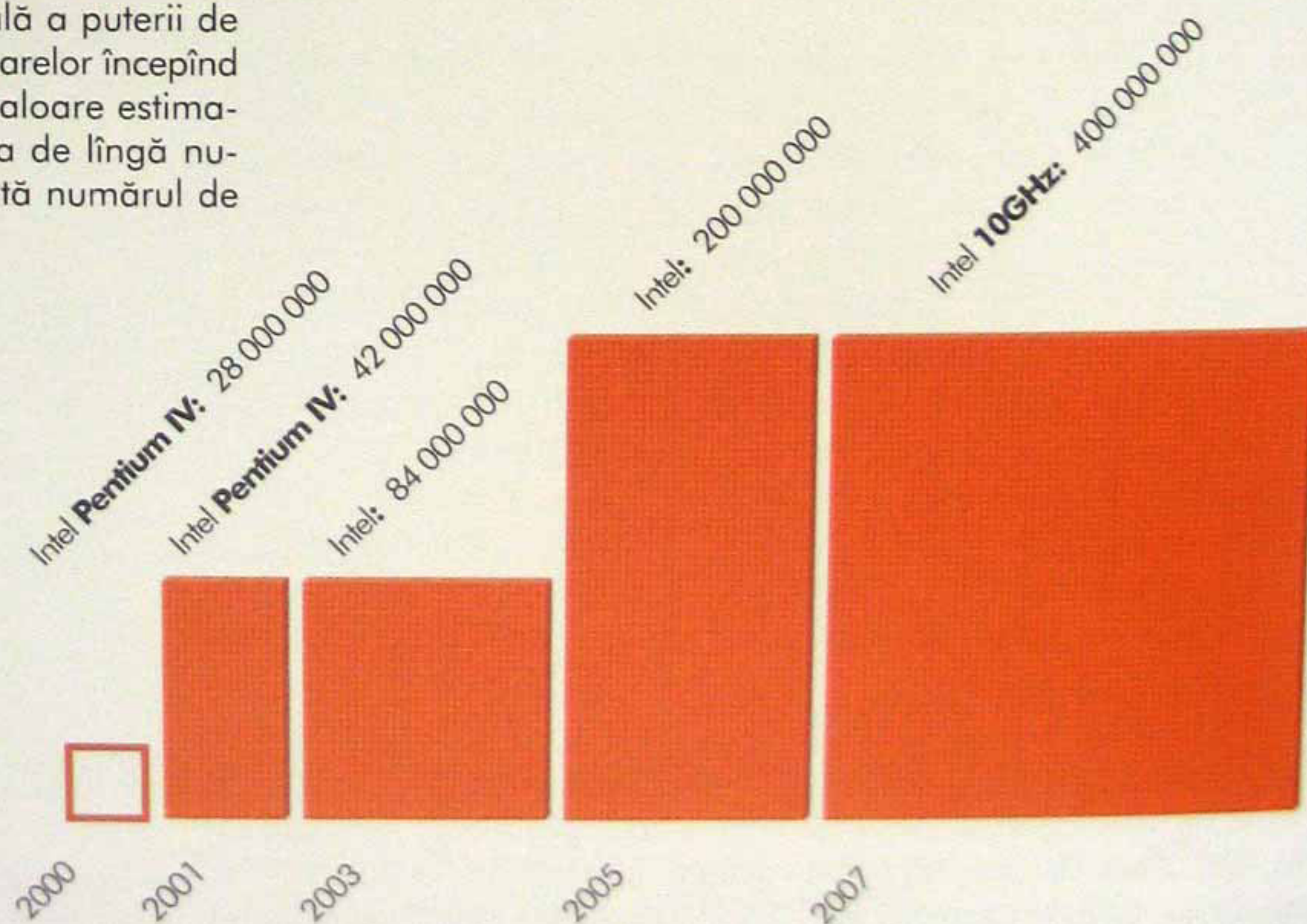
Calculatoarele din ziua de azi sînt depășite la capitolul putere de calcul de creierul unei biete rîme.



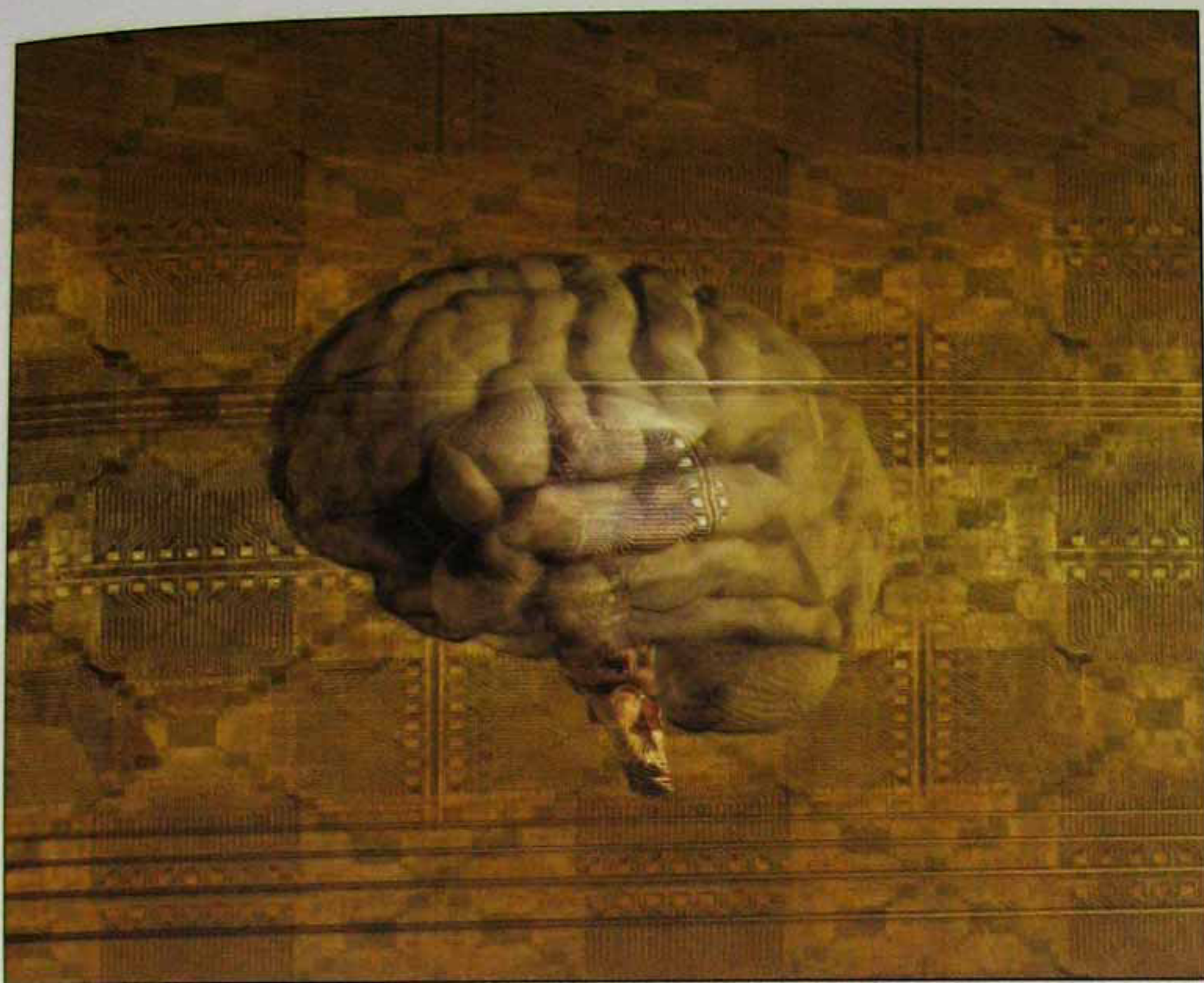
Fig. 6.6



Creșterea exponențială a puterii de calcul a microprocesoarelor începând din 1972 pînă la o valoare estimată pentru 2007. Cifra de lîngă numele cipului reprezintă numărul de operații pe secundă.







Dar calculatoarele ascultă de ceea ce se numește legea lui Moore: viteza și complexitatea lor se dublează la fiecare 18 luni (Fig. 6.6). Este una dintre acele creșteri exponențiale care în mod clar nu poate continua la infinit. Creșterea va continua probabil pînă cînd calculatoarele vor atinge o complexitate asemănătoare cu cea a creierului uman. Unii cred că niciodată calculatoarele nu vor ajunge la vreo formă de inteligență adevărată. Eu cred însă că, dacă molecule chimice complicate pot funcționa astfel încît să-i facă pe oameni inteligenți, atunci circuite electronice la fel de complicate pot aduce, la rîndul lor, inteligență calculatoarelor. Iar dacă ele vor fi inteligente, vor putea probabil proiecta alte calculatoare, încă mai complexe și mai inteligente.

Va putea această creștere a complexității biologice și electronice să continue la infinit sau există o limită naturală? În ce privește biologia, limita inteligenței umane a fost pînă acum dictată de mărimea creierului, care trebuie să poată trece prin colul uterin. Dat fiind că am asistat la nașterea celor trei copii ai mei, știu cît de greu este pentru cap să iasă. Dar în următoarea sută de ani mă aștept să devină posibilă dezvoltarea embrionilor în afara corpului uman, astfel că această limitare va dispărea. În cele din urmă însă, creșterea mărimii creieru-

Implantele neuronale vor oferi o memorie mai bună și pachete complete de informație, cum ar fi o întreagă limbă străină sau conținutul acestei cărți, care vor putea fi însușite în cîteva minute. Astfel de ființe umane îmbunătățite vor semăna destul de puțin cu noi.





## O SCURTĂ ISTORIE A UNIVERSULUI

EVENIMENTE (nu sînt reprezentate la scară)

0,00003 miliarde de ani.

Marea explozie (Big bang) și un univers inflaționist incandescent și opac.

Materia se decuplează de energie. Universul devine transparent.

1 miliard de ani.

Aglomerări de materie formează protogalaxii unde sînt sintetizate nuclee grele.

3 miliarde de ani.

Galaxiile înregistrate de Telescopul Spațial Hubble.



SUCCESIUNEA ÎN TIMP (în ani, la scară)



(Fig. 6.7)

Rasa umană există doar de o fracțiune minuscule din istoria universului. (Dacă această imagine ar fi la scara reală, iar perioada corespunzând existenței omului ar fi un segment de 7 cm, atunci întreaga istorie a universului ar avea o lungime de un kilometru.) Orice formă de viață extraterestră am întâlni, e probabil să fie mult mai primitivă sau mult mai avansată decât a noastră.

lui uman prin inginerie genetică se va lovi de faptul că mesagerii chimici din corpul nostru responsabili pentru activitatea mentală se mișcă relativ încet. O creștere ulterioară a complexității creierului se va face deci în detrimentul vitezei. Vom putea fi ori iuți la minte, ori foarte inteligenți, dar nu ambele. Eu cred că putem deveni mult mai inteligenți decât majoritatea personajelor din *Star Trek*, ceea ce nu-i prea greu.

Circuitele electronice au aceeași problemă a complexității în detrimentul vitezei ca și creierul uman. În cazul lor însă, semnalele sînt electrice, nu chimice, și călătoresc cu viteza luminii, care e mult mai mare. Oricum, viteza luminii constituie deja o limită în proiectarea unor calculatoare mai rapide. Putem face circuite mai mici, dar în cele din urmă vom ajunge la limita impusă de structura atomică a materiei. Mai e însă destul pînă să ajungem la această limită.



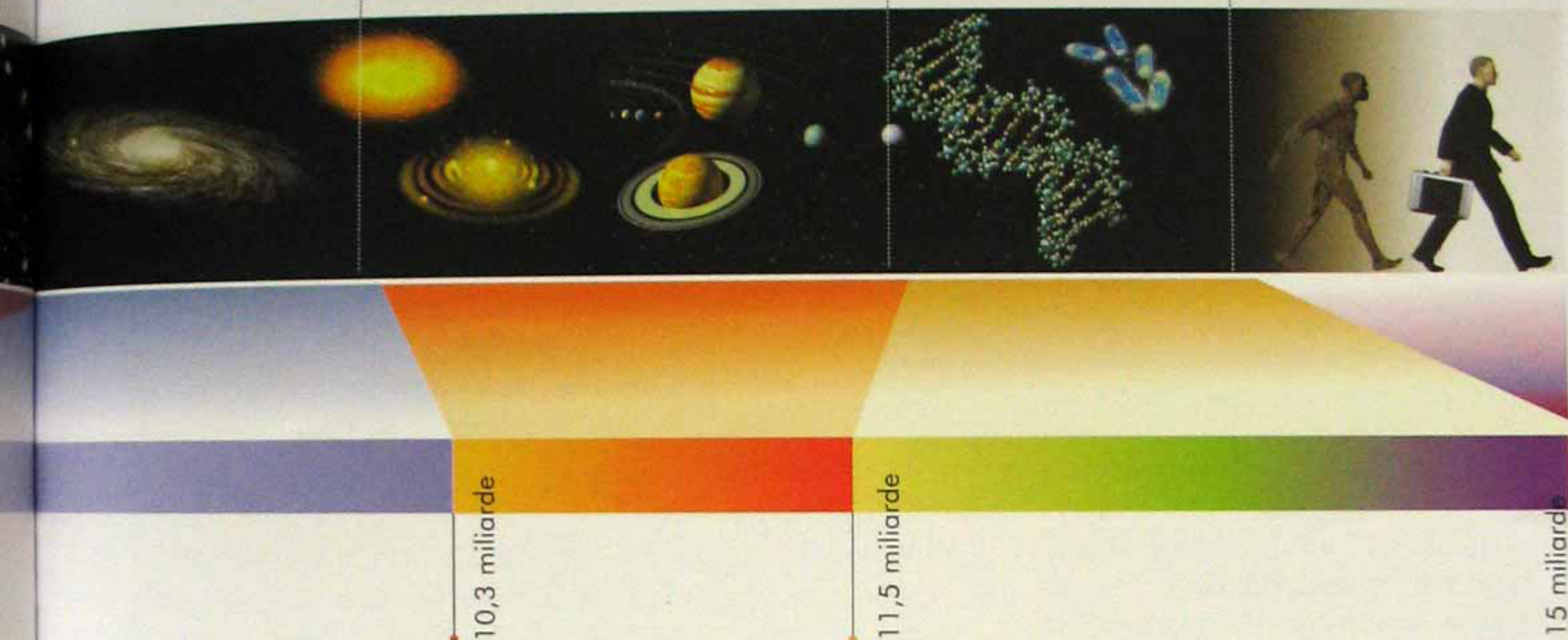


Se formează noi galaxii cu nuclee grele, precum a noastră.

Formarea sistemului nostru solar cu planete care se rotesc.

Cu 3,5 miliarde de ani în urmă încep să apară primele forme de viață.

Cu 0,0005 miliarde de ani în urmă apar primele ființe umane.



O altă cale pentru creșterea complexității circuitelor electronice, păstrînd în același timp viteza, e copierea creierului uman. Creierul nu are un singur CPU — unitate centrală de procesare — care să proceseze secvențial un șir de comenzi, ci milioane de procesoare care lucrează împreună în același timp. O asemenea procesare paralelă masivă va fi și baza pentru dezvoltarea viitoare a inteligenței electronice.

Presupunînd că nu ne vom autodistrage în următoarea sută de ani, e probabil ca în această perioadă să populăm mai întîi planetele din propriul sistem solar, iar apoi pe cele ale stelelor apropiate. Nu va fi însă ca în *Star Trek* sau *Babylon 5*, cu cîte o nouă rasă de ființe umanoide în fiecare sistem stelar. Rasa umană a ajuns în forma actuală în numai două milioane de ani din cele aproximativ cincisprezece miliarde scurse de la marea explozie (Fig. 6.7).





## INTERFAȚA BIOLOGIC – ELECTRONIC

Este posibil ca în două decenii, un calculator de o mie de dolari să fie la fel de complex ca și creierul uman. Procesoarele paralele vor putea reproduce modul în care creierul nostru funcționează și vor da posibilitatea calculatoarelor să funcționeze în mod inteligent și conștient.

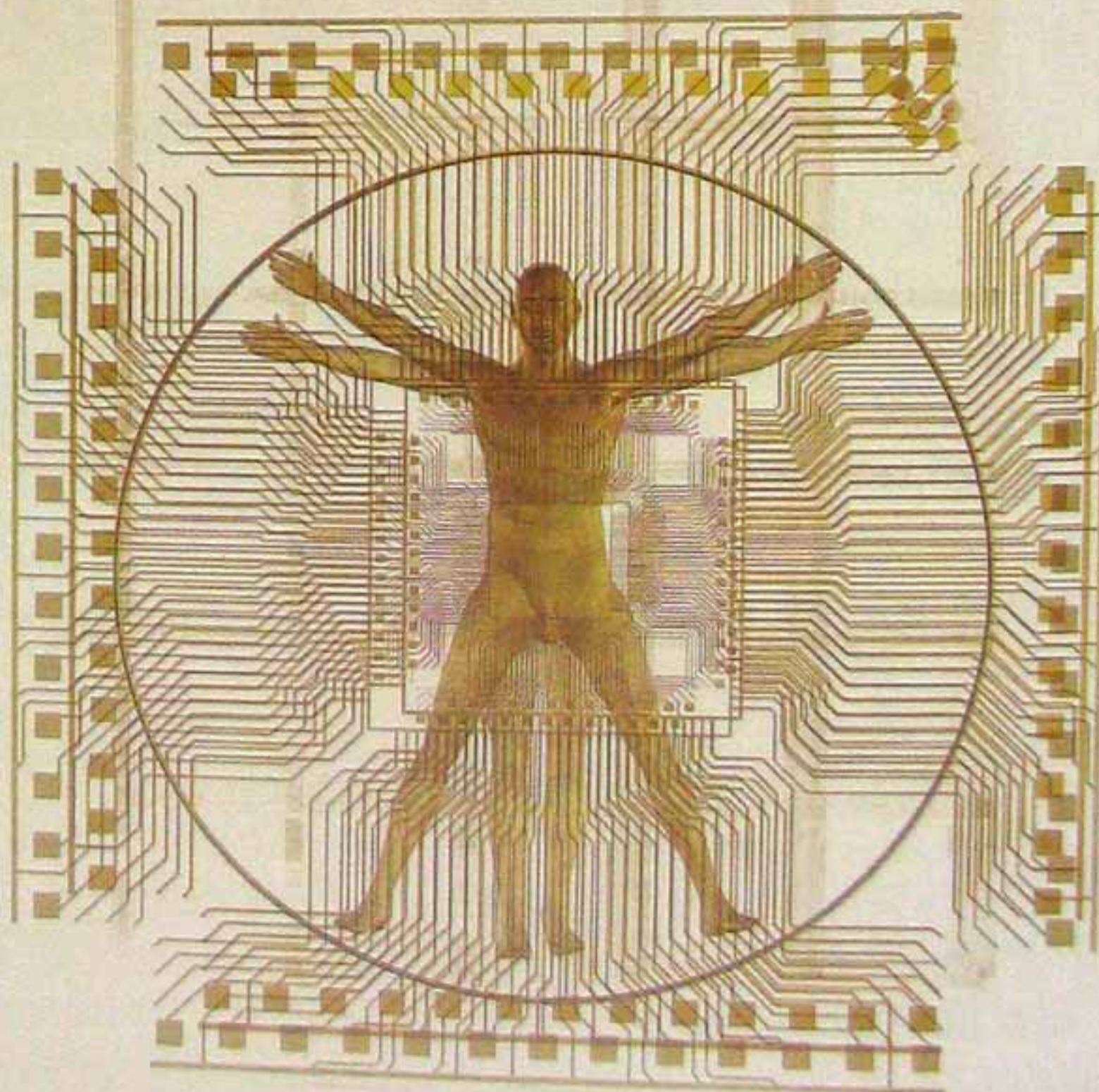
Implantele neuronale ar permite o comunicare mult mai rapidă între creier și calculatoare, dizolvînd granița dintre inteligența biologică și cea electronică.

În viitorul apropiat, majoritatea tranzacțiilor vor fi încheiate probabil între persoane cibernetice prin intermediul World Wide Web-ului.

Într-un deceniu, mulți dintre noi ar putea alege să ducă o existență virtuală pe Net, unde își vor putea face prieteni cibernetici și relații cibernetice.

Înțelegerea genomului uman va aduce fără îndoială progrese în medicină, dar ne va permite și să sporim semnificativ complexitatea ADN-ului uman. În următoarele sute de ani, ingineria genetică umană ar putea înlocui evoluția biologică, reproiectînd rasa umană și dînd naștere unor noi probleme etice.

Călătoria spațială dincolo de granițele sistemului solar va necesita probabil ființe umane modificate genetic sau sonde spațiale fără echipaj la bord, controlate de calculatoare.





Astfel, chiar dacă viața s-a dezvoltat și în alte sisteme stelare, șansa s-o găsim într-un stadiu asemănător celui uman e foarte mică. Orice formă extraterestră de viață am întâlni, probabil că va fi ori mult mai primitivă, ori mult mai avansată. Dacă e mult mai avansată, atunci de ce nu a colonizat galaxia și nu a vizitat Pământul? Dacă extratereștrii ar fi venit pe-aici, ar fi trebuit să ne dăm seama: un scenariu mai apropiat de filmul *Independence Day* decât de *E.T.*

Cum putem explica deci absența vizitelor extraterestre? Poate că există undeva o rasă avansată care a aflat de existența noastră, dar ne lasă să fierbem în sucurile noastre primitive. E totuși îndoielnic că ar fi preocupată de o formă de viață primitivă: oare câți dintre noi se gîndesc la insectele și rîmele pe care le strivim la fiecare pas? O explicație mai plauzibilă ar fi că probabilitatea ca viața să apară pe o altă planetă sau să se ajungă la o formă inteligentă de viață e foarte mică. Pentru că ne pretindem inteligenți, poate fără prea mult temei, tindem să privim inteligența ca pe o consecință inevitabilă a evoluției. Ceea ce e discutabil. Nu e clar dacă inteligența are mare însemnătate pentru supraviețuire. Bacteriile o duc foarte bine fără a fi inteligente și vor supraviețui chiar dacă așa-zisa noastră inteligență ne va duce la autodistrugere printr-un război nuclear. Astfel, explorînd galaxia, am putea întâlni viață primitivă, dar e puțin probabil să întâlnim ființe aïdoma nouă.

Viitorul științei nu va fi atît de optimist cum îl prezintă *Star Trek*: un univers populat de mai multe rase umanoide, cu o știință și o tehnologie avansate, dar esențialmente statice. Cred mai curînd că ne vom descurca pe cont propriu, dar sporindu-ne rapid complexitatea biologică și electronică. Nu prea multe din toate astea se vor întîmpla în următoarea sută de ani, perioadă dincolo de care nu se pot face predicții rezonabile. Dar, spre sfîrșitul mileniului, dacă vom ajunge pînă acolo, diferențele în raport cu *Star Trek* vor fi esențiale.



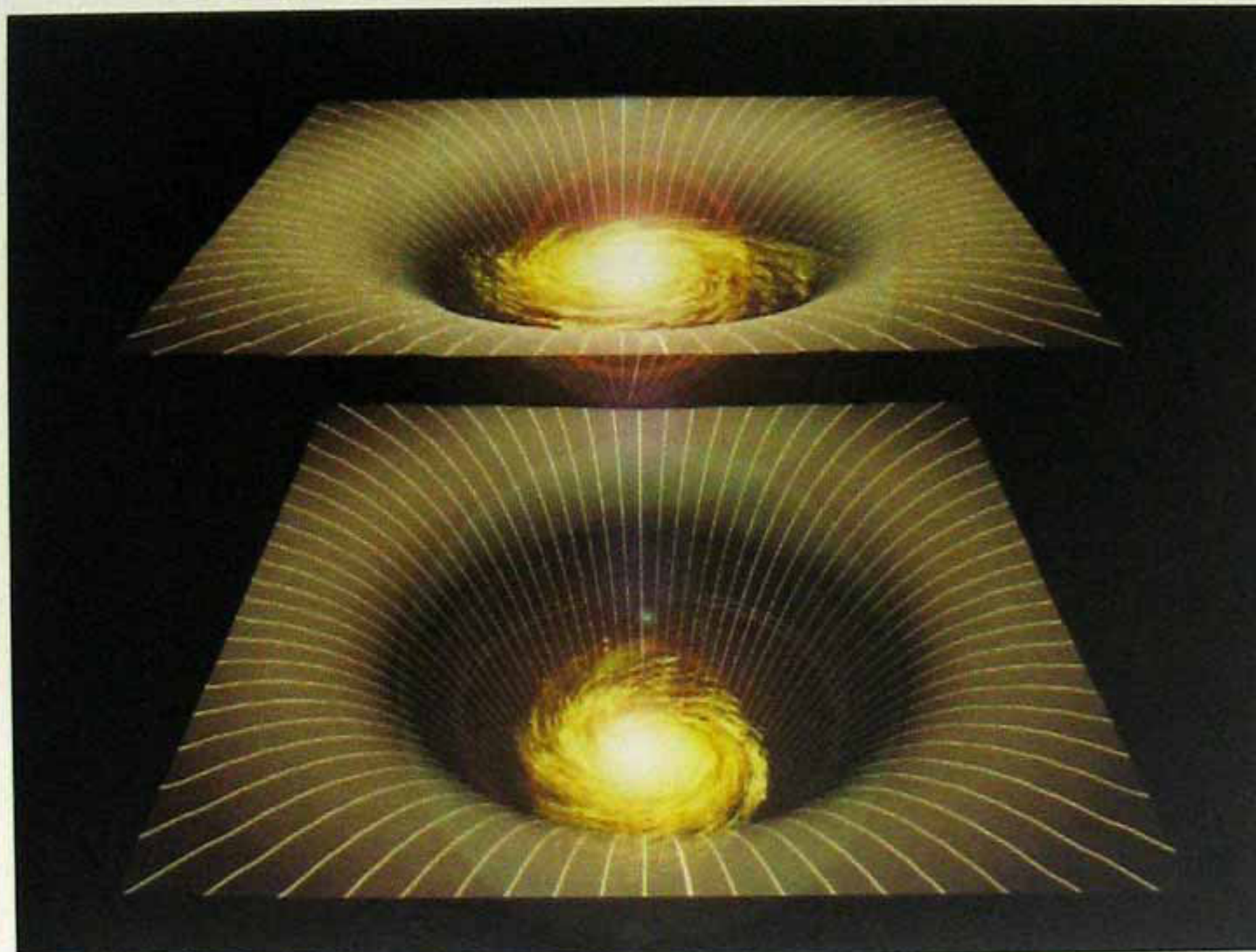
Are inteligența o mare valoare pentru supraviețuirea pe termen lung?



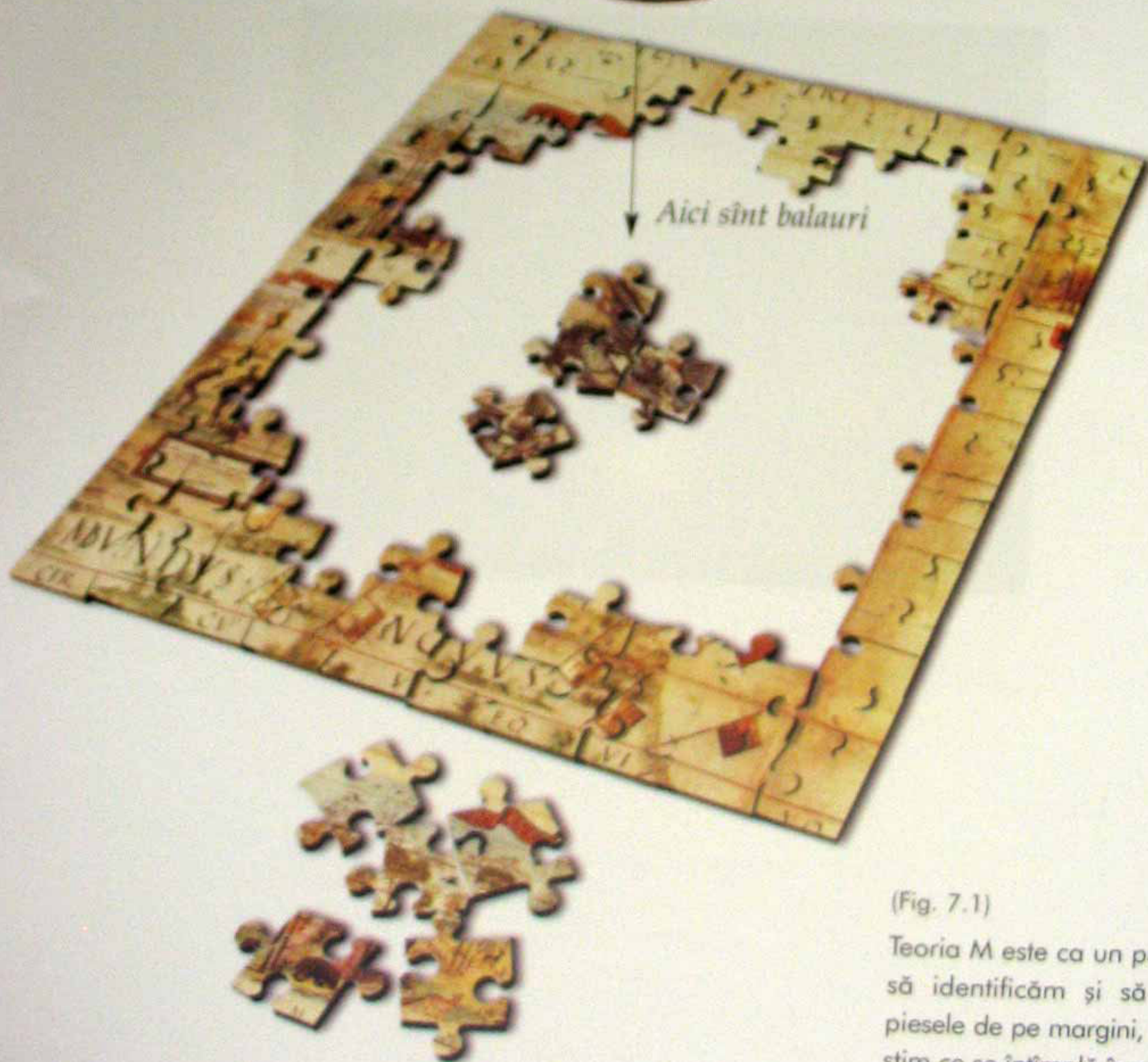
## CAPITOLUL 7

# „Brana lume” nouă

*Trăim pe o brană sau sîntem doar holograme?*







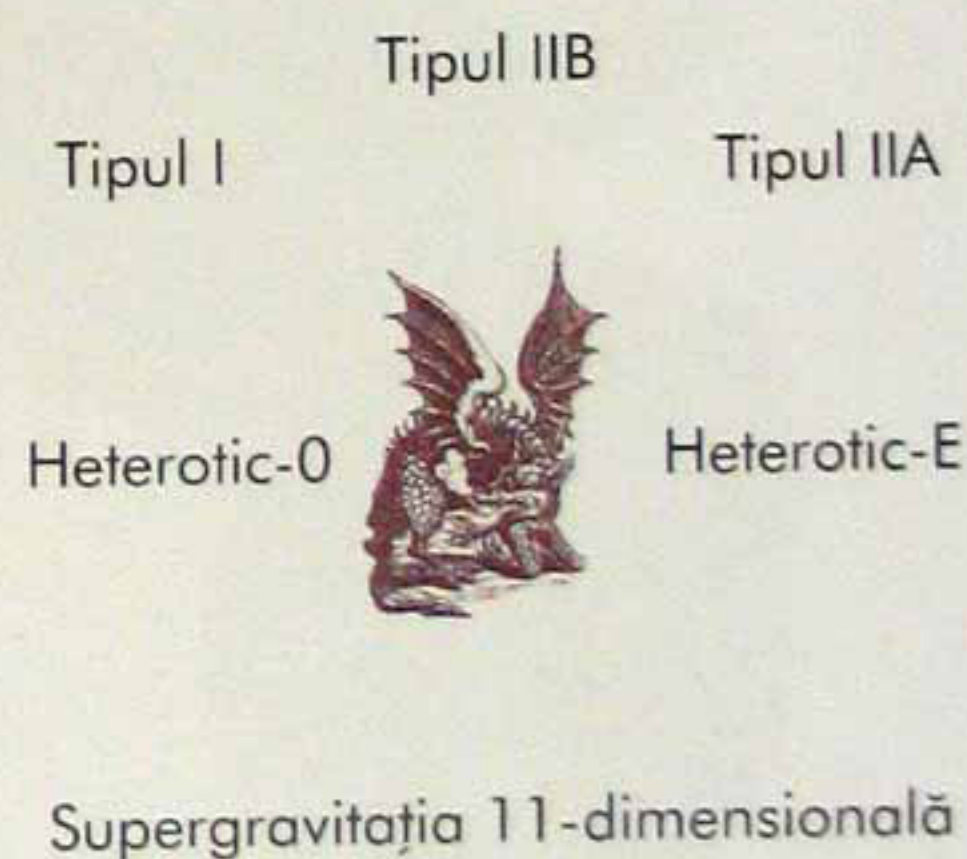
(Fig. 7.1)

Teoria M este ca un puzzle. E ușor să identificăm și să asamblăm piesele de pe margini, dar nu prea știm ce se întîmplă în centru, acolo unde nu putem face aproximația că o cantitate sau alta e mică.



Cum va continua oare în viitor călătoria descoperirilor noastre? Vom reuși oare să găsim o teorie completă unificată care să descrie universul și tot ce conține el? De fapt, așa cum am arătat în capitolul 2, e posibil ca teoria M să fie Teoria despre Tot. Această teorie nu are o singură formulare, cel puțin după câte știm în prezent. Am descoperit în schimb o rețea de teorii, aparent diferite, care par să fie toate aproximații în diverse limite ale unei aceleiași teorii, exact așa cum teoria newtoniană a gravitației e o aproximație a teoriei generale a relativității a lui Einstein, în limita unui câmp gravitațional slab. Teoria M e ca un puzzle: e ușor să identificăm și să asamblăm piesele de la margini, limitele Teoriei M unde anumite cantități sînt mici. Cunoaștem acum destul de bine aceste margini, dar rămîne un gol în centrul puzzle-ului teoriei M, acolo unde nu știm ce se întîmplă (Fig. 7.1). Pînă ce nu vom umple acest gol, nu putem pretinde că am găsit Teoria despre Tot.

Ce se află în centrul teoriei M? Vom descoperi oare balauri (sau ceva la fel de straniu), așa cum apare pe vechile hărți ale ținuturilor neexplorate? Experiența noastră ne sugerează că, atunci cînd ne extindem observațiile la o scară și mai mică, e probabil să descoperim fenomene imprevizibile. La începutul secolului XX, am înțeles cum funcționează natura la scara fizicii clasice, valabilă de la distanțele interstelare pînă la aproximativ o sutime de milimetru. Fizica clasică presupune că materia e un mediu continuu avînd proprietăți cum ar fi elasticitatea și vîscozitatea, dar au început să apară dovezi că materia nu e netedă, ci granulară: e alcătuită din mici entități

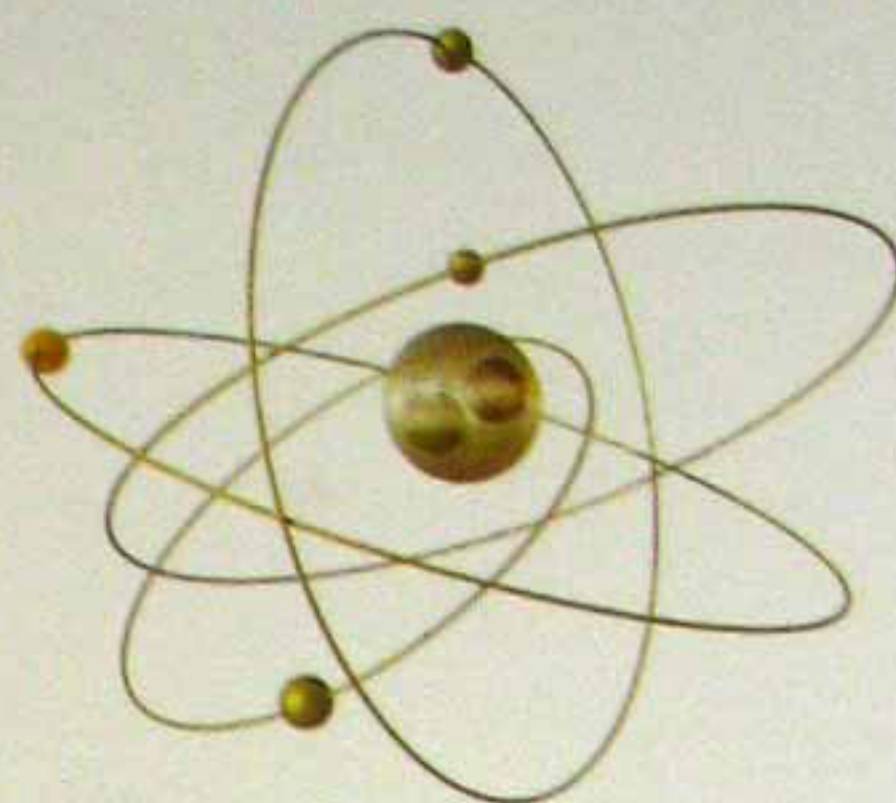




(Fig. 7.2)

Dreapta: Atomul clasic indivizibil

Mai la dreapta: Un atom cu electronii ce orbitează în jurul unui nucleu format din protoni și neutroni.



(Fig. 7.3)

Sus: Un proton e alcătuit din doi cuarci „up”, fiecare avînd sarcină electrică pozitivă și egală cu două treimi din sarcina electronului, și unul „down”, care are sarcină negativă și egală cu o treime din sarcina electronului.

Jos: Un neutron e alcătuit din doi cuarci „down” și unul „up”.

numite atomi. Cuvîntul atom vine din greacă și înseamnă indivizibil, dar s-a descoperit curînd că atomii erau formați dintr-un nucleu care conține protoni și neutroni, în jurul căruia orbitează electroni (Fig. 7.2).

Cercetările de fizică atomică din primii treizeci de ani ai secolului XX au împins cunoașterea noastră la distanțe de ordinul unei milionimi de milimetru. S-a descoperit apoi că protonii și neutronii sînt alcătuiți din particule și mai mici, numite cuarci (Fig. 7.3).

Cercetări recente în domeniul fizicii nucleare și al energiilor înalte au împins cunoașterea la o scară de un miliard de ori mai mică. S-ar părea că se poate continua la nesfîrșit, descoperind structuri la o scară din ce în ce mai mică. Există însă o limită, la fel ca pentru seriile de păpuși rusești (Fig. 7.4).

Se ajunge pînă la urmă la cea mai mică păpușă, care nu mai poate fi desfăcută. În fizică, cea mai mică păpușă se numește lungimea Planck. Pentru a sonda distanțe și mai mici, ar fi nevoie de particule cu o energie atît de mare, încît ar trebui să se afle în interiorul găurilor negre. Nu știm exact care e lungimea fundamentală Planck în teoria M, dar ea ar putea fi un milimetru împărțit la o sută de mii de miliarde de miliarde de miliarde. Nu sîntem pe punctul de a construi acceleratoare de particule care să sondeze distanțe atît de mici. Ele ar trebui să fie mai mari decît sistemul solar și, în climatul









(Fig. 7.5)  
Dimensiunea unui accelerator necesar pentru a sonda distanțe de ordinul lungimii Planck ar depăși în diametru sistemul solar.

financiar actual, e puțin probabil să se aprobe fonduri pentru așa ceva (Fig. 7.5).

Au apărut însă noi cercetări conform cărora am putea descoperi cel puțin câțiva din balaurii teoriei M mai ușor (și mai ieftin). După cum am arătat în capitolele 2 și 3, în rețeaua de modele matematice a teoriei M, spațiu-timpul are zece sau unsprezece dimensiuni. Pînă de curînd se credea că toate cele șase sau șapte dimensiuni suplimentare sînt foarte strîns înfășurate și închise în sine, ca în cazul firului de păr (Fig. 7.6).

Dacă priviți sub lupă un fir de păr, puteți vedea că are groșime, dar pentru ochiul liber el pare să nu aibă altă dimensiune decît lungimea. Spațiu-timpul poate fi asemănător: la scara umană, la scara atomică sau chiar nucleară, el pare cvadridimensional și aproape plat. Dar dacă sondăm distanțe foarte mici folosind particule de energii extrem de mari, ar trebui să vedem că spațiu-timpul are zece sau unsprezece dimensiuni.

Dacă toate dimensiunile suplimentare ar fi foarte mici, ar fi foarte greu de observat. Recent s-a sugerat însă că una sau





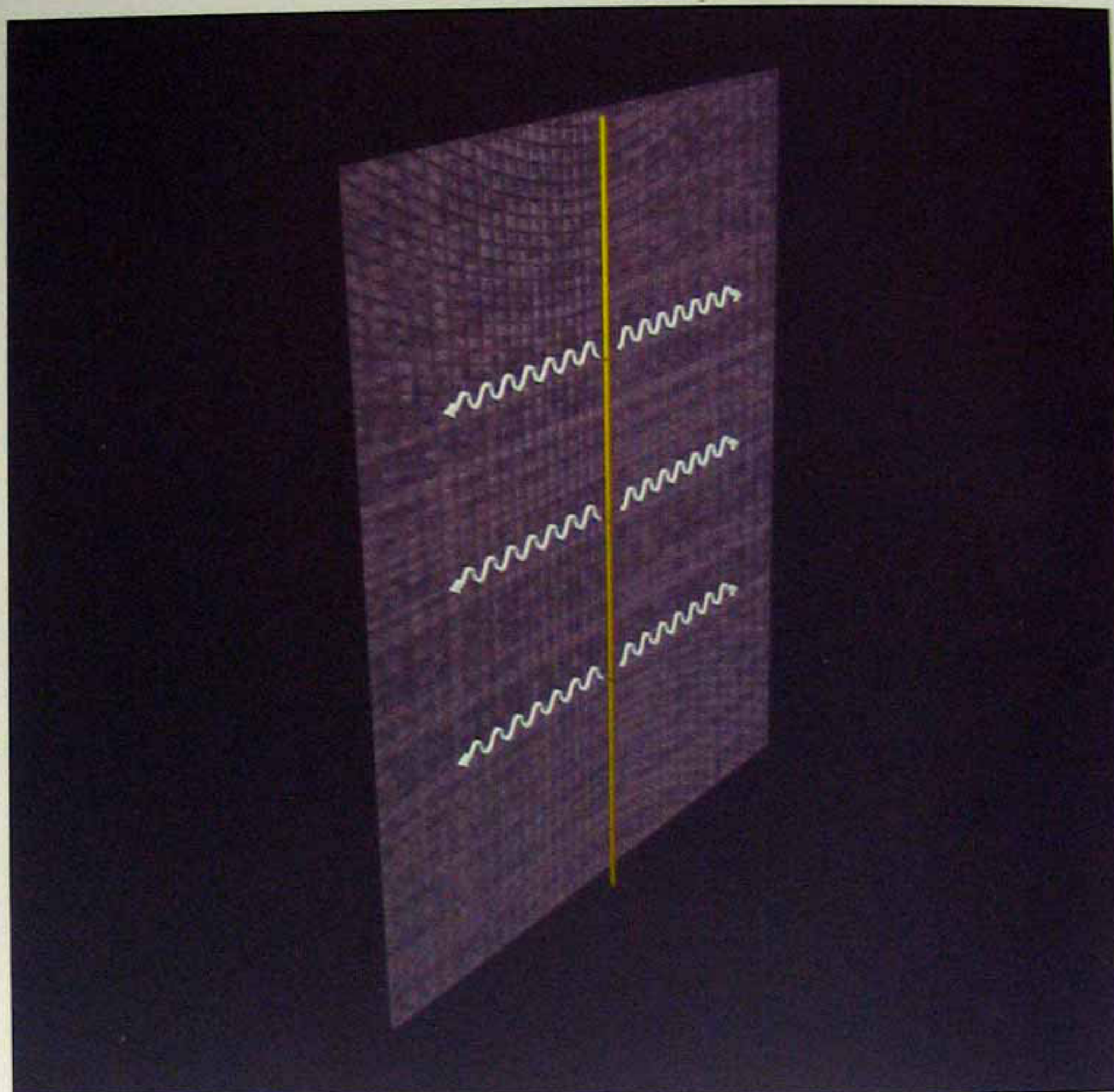
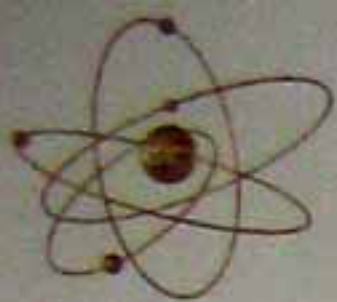
Investigațiile la energii suficient de mari ne-ar putea dezvălui că spațiu-timpul e multidimensional.



(Fig. 7.6)

Pentru ochiul liber, un fir de păr arată ca o linie; lungimea pare să fie singura sa dimensiune. Similar, spațiu-timpul poate părea cvadridimensional, dar, dacă e sondat cu particule de energii foarte mari, s-ar putea dovedi că are zece sau unsprezece dimensiuni.





(Fig. 7.7) LUMI-BRANE

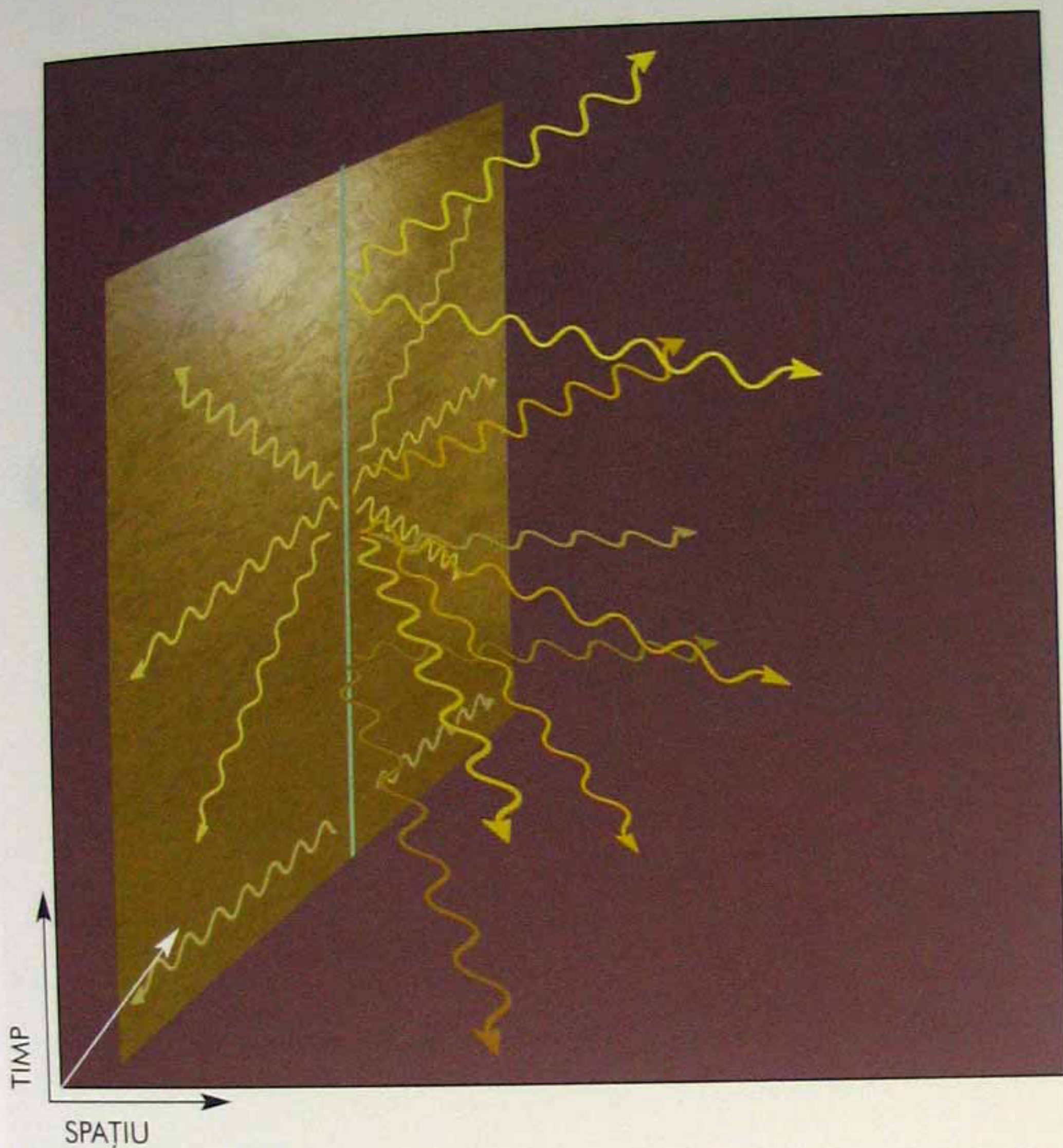
Forța electrică va fi confinată pe brană și va avea o astfel de lege de scădere cu distanța, încât electronii să aibă orbite stabile în jurul nucleelor atomice.

mai multe dintre dimensiunile suplimentare ar putea fi destul de mari sau chiar infinite. Această idee are marele avantaj (cel puțin pentru un pozitivist ca mine) că poate fi testată de următoarea generație de acceleratoare de particule sau prin măsurători fine, pe distanțe scurte, ale forței gravitaționale. Asemenea observații ar putea fie infirma teoria, fie confirma experimental existența altor dimensiuni.

Dimensiunile suplimentare mari sînt un subiect fierbinte de cercetare în căutarea modelului sau teoriei ultime. Existența lor ar însemna că trăim într-o „lume-brană”, o suprafață sau o brană cvadridimensională într-un spațiu-timp cu mai multe dimensiuni.

Materia și forțele non-gravitaționale, cum ar fi cea electrică, ar fi confinate pe brană. Astfel, orice nu implică gravitația





s-ar comporta ca în patru dimensiuni. În particular, forța electrică dintre nucleul unui atom și electronii din jurul său scade cu distanța după o lege ce permite atomilor să fie stabili — electronii nu cad pe nucleu (Fig. 7.7).

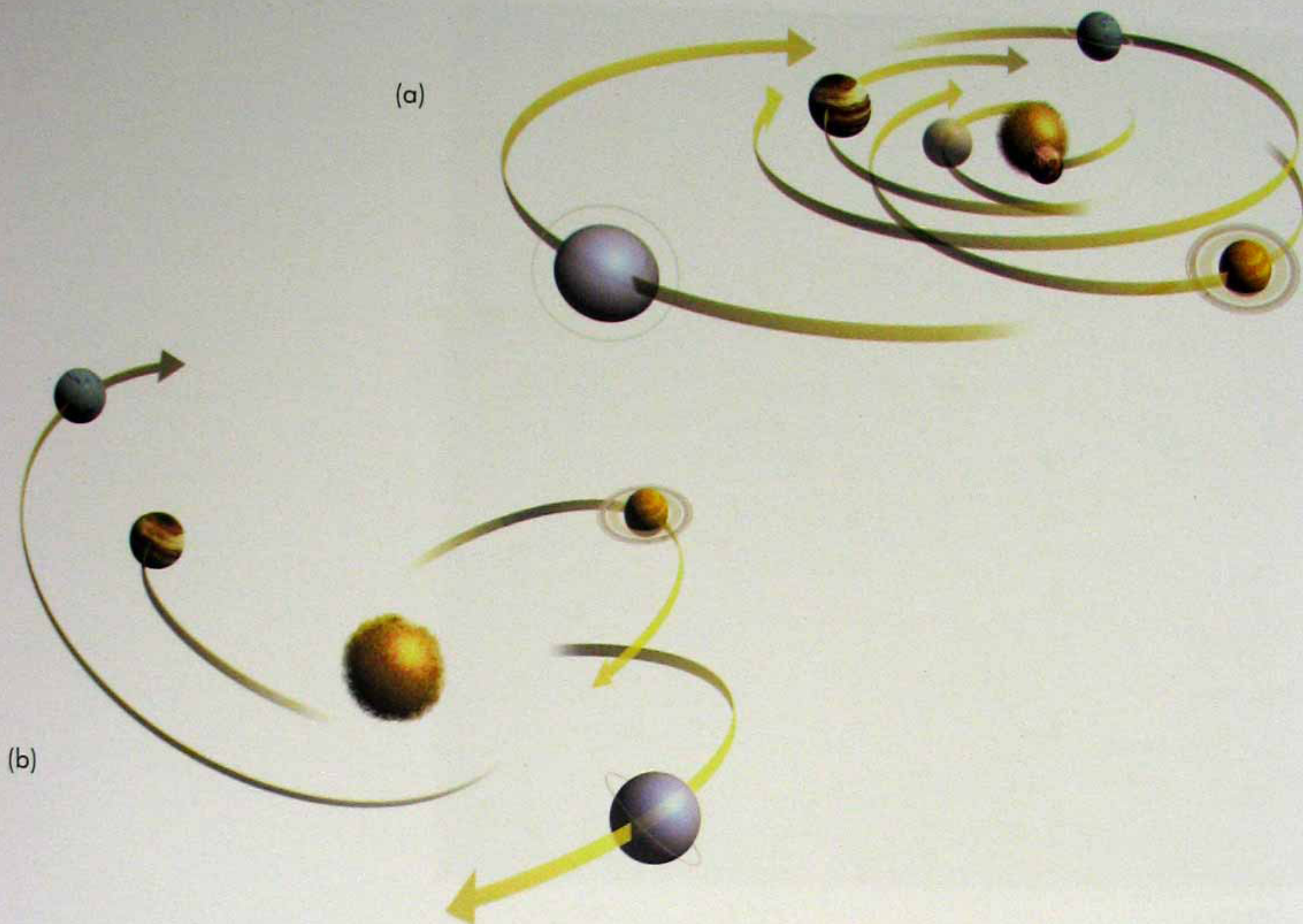
Aceasta ar fi în acord cu principiul antropic, care afirmă că universul trebuie să fie adecvat vieții inteligente: dacă atomii n-ar fi stabili, noi n-am fi aici ca să observăm universul și să ne întrebăm de ce ni se înfățișează cvadridimensional.

Pe de altă parte, gravitația ar pătrunde în toate dimensiunile suplimentare ale spațiu-timpului, curbând spațiul. Ar rezulta de aici că gravitația s-ar comporta diferit de celelalte forțe cunoscute: gravitația pătrunzând în dimensiunile suplimentare, ar trebui să scadă cu distanța mai rapid decât ne-am aștepta (Fig. 7.8).

(Fig. 7.8)

Gravitația s-ar răspîndi în dimensiunile suplimentare, acționînd în același timp și pe brană, și ar trebui să scadă mai rapid cu distanța decât în patru dimensiuni.





(Fig. 7.9)

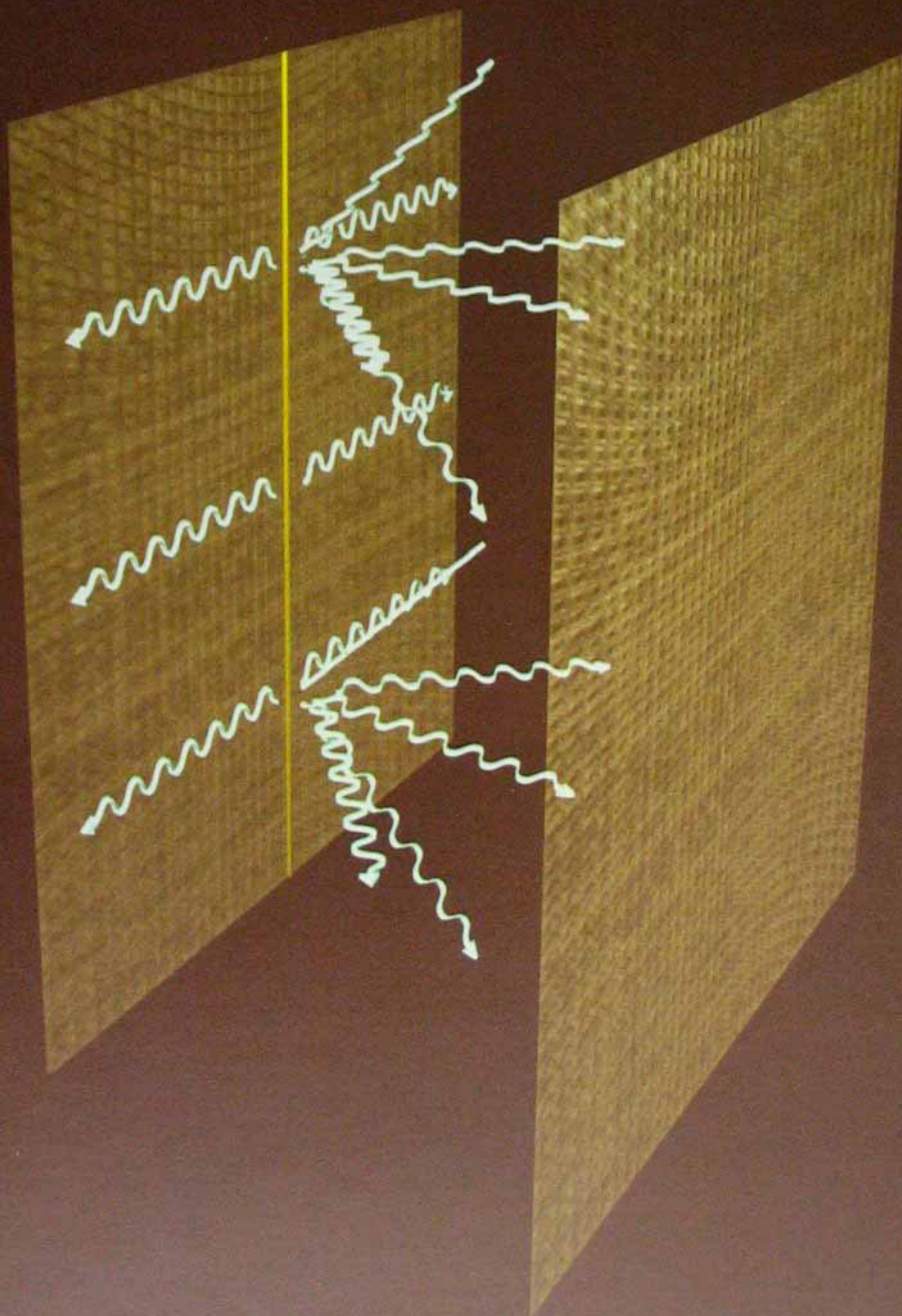
O scădere mai rapidă a forței gravitaționale la distanțe mari ar duce la instabilitatea orbitelor planetare. Planetele fie ar cădea pe Soare **(a)**, fie ar scăpa atracției sale pentru totdeauna **(b)**.

Dacă această scădere mai rapidă s-ar manifesta la distanțe astronomice, am observa efectul ei asupra orbitelor planetelor. Ele ar fi instabile, după cum am remarcat în capitolul 3: planetele fie ar cădea pe Soare, fie ar scăpa în spațiul interstelar întunecos și rece (Fig. 7.9).

Dar acest lucru n-ar mai fi valabil dacă dimensiunile suplimentare ar sfîrși pe o altă brană, nu departe de brana pe care trăim. Atunci, pentru distanțe mai mari decît spațiul dintre brane, gravitația nu s-ar răspîndi, ci ar fi confinată pe brană, la fel ca forțele electrice, și ar scădea cu distanța așa încît orbitele planetelor să fie stabile (Fig. 7.10).

Pentru distanțe mai mici decît spațiul dintre brane, gravitația ar descrește însă mai rapid. S-au făcut experimente de laborator și au fost măsurate cu acuratețe forțele gravitaționale

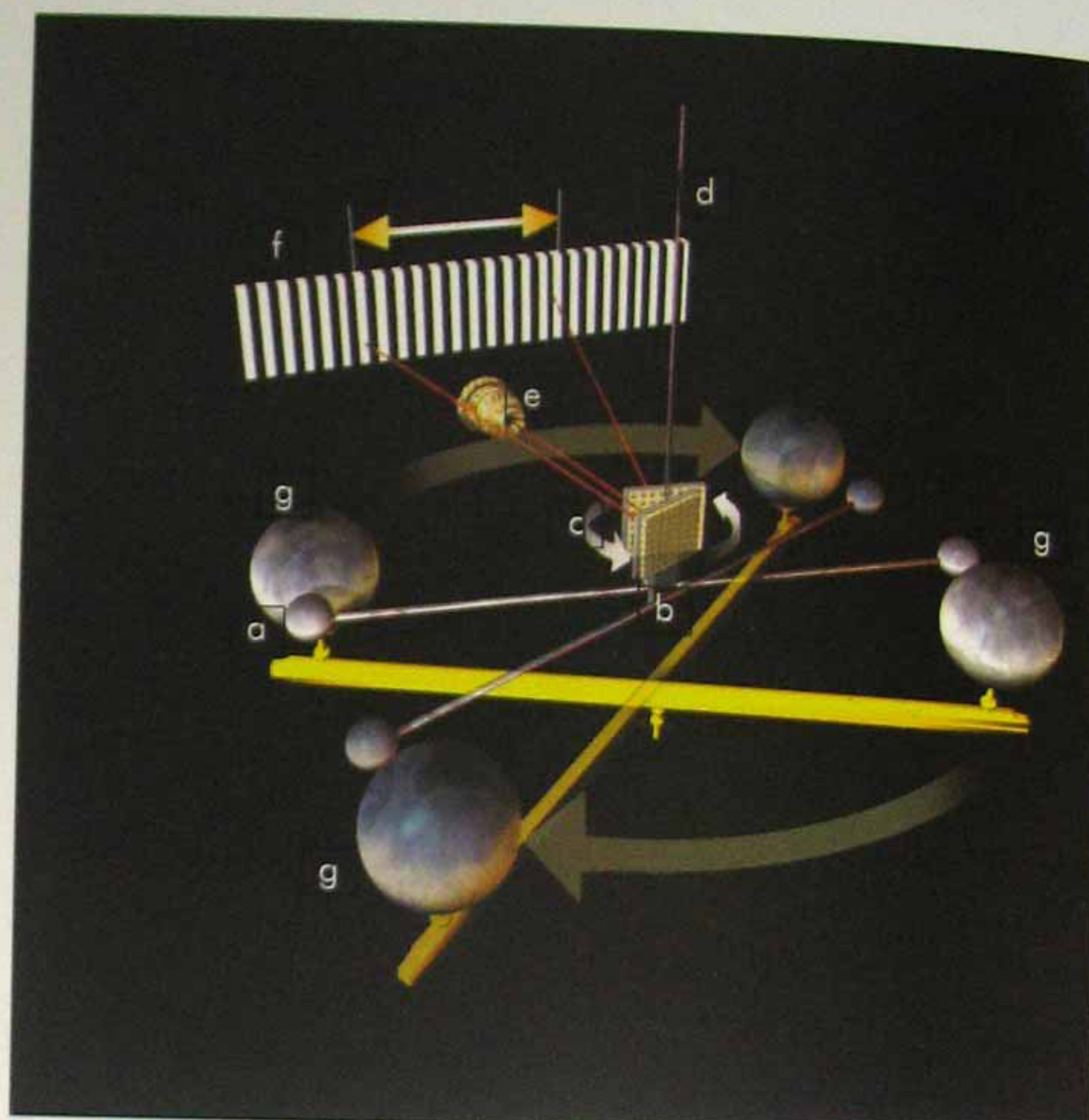




↑  
Dimensiuni suplimentare

(Fig. 7.10) O a doua brană în apropierea branei noastre ar putea împiedica gravitația să se răspândească departe în dimensiunile suplimentare și ar avea drept efect faptul că, la distanțe mai mari decât spațiul dintre brane, gravitația ar scădea după legea pe care o cunoaștem pentru patru dimensiuni.





(Fig. 7.11)

## EXPERIMENTUL CAVENDISH

Un fascicul laser **(e)** pune în evidență orice răsucire a unei tije prin proiectarea sa pe un ecran gradat **(f)**. Două mici sfere de plumb **(a)** atașate la tija **(b)** prevăzută cu o mică oglindă **(c)** sînt suspendate prin intermediul unui fir ce se poate torsiona.

Două sfere mari de plumb sînt plasate la capetele unei tije ce se poate roti, în apropierea celor mici. Pe măsură ce sferele mari **(g)** se rotesc spre poziția opusă, tija oscilează și se stabilizează într-o nouă poziție.

foarte slabe dintre două corpuri masive, dar pînă acum nu au fost detectate efectele pe care le-ar genera două brane separate de o distanță de cîțiva milimetri. În prezent, se fac noi experimente pentru distanțe mai mici (Fig. 7.11).

În această lume a branelor, noi am trăi pe o brană, dar ar exista o altă brană, ca o umbră a ei, în apropiere. Lumina fiind confinată pe brane și neputîndu-se propaga în spațiul dintre ele, nu putem vedea lumea din umbră. Dar am simți influența gravitațională a materiei aflată pe brana din umbră. În brana noastră, astfel de forțe gravitaționale ar părea că sînt produse de surse într-adevăr „întunecate”, în sensul că nu le putem detecta decît prin gravitația lor (Fig. 7.12). De fapt, pentru a explica viteza cu care stelele orbitează în jurul galaxiei, se pare că trebuie să existe mai multă masă decît cea corespunzînd materiei observate.





(Fig. 7.12) În scenariul lumilor-brane, planetele pot orbita în jurul unei mase întunecate de pe brana din umbră, deoarece forțele gravitaționale se răspîndesc în dimensiunile suplimentare.





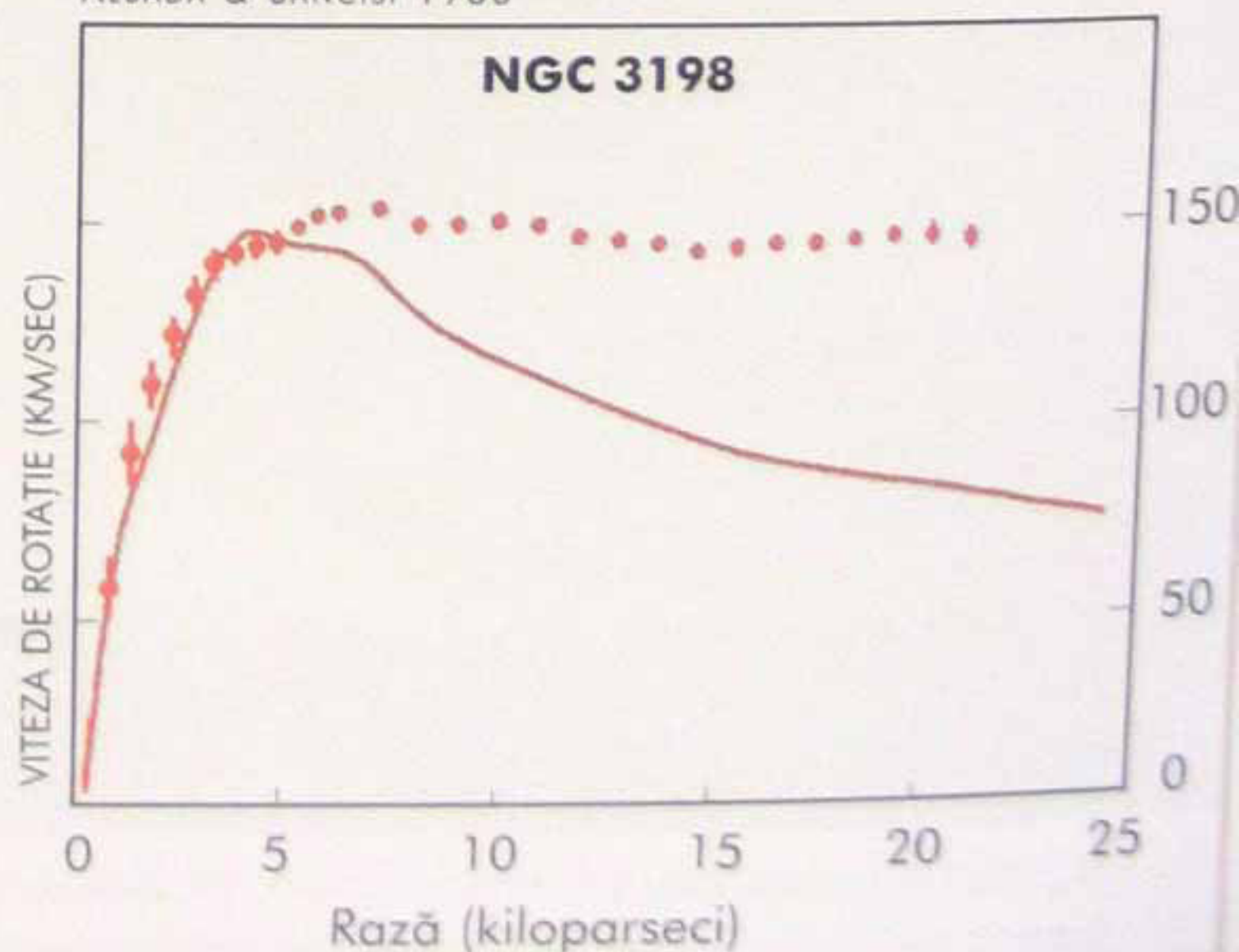
## DOVEZI ALE EXISTENȚEI MATERIEI ÎNTUNECATE

Diferite observații cosmologice sugerează că ar trebui să existe mult mai multă materie în galaxia noastră și în alte galaxii decât vedem noi. Cea mai convingătoare dintre observații e că stelele de la periferia galaxiilor spirale, cum e și Calea Lactee, se rotesc mult prea rapid pentru a fi menținute pe orbite de atracția gravitațională a stelelor observate (vezi graficul).

Știm încă din anii 1970 că pentru stelele din regiunile exterioare ale galaxiilor spirale există o discrepanță între vitezele de rotație observate (indicate prin puncte pe diagramă) și cele la care ne așteptăm în acord cu legile lui Newton, dacă ținem cont de distribuția stelelor vizibile din galaxie (curba continuă din diagramă). Această discrepanță indică faptul că trebuie să existe mult mai multă materie în regiunile exterioare ale galaxiilor spirale.

## CURBA DE ROTAȚIE PENTRU GALAXIA SPIRALĂ NGC 3198

ALBADA & SANCISI 1986





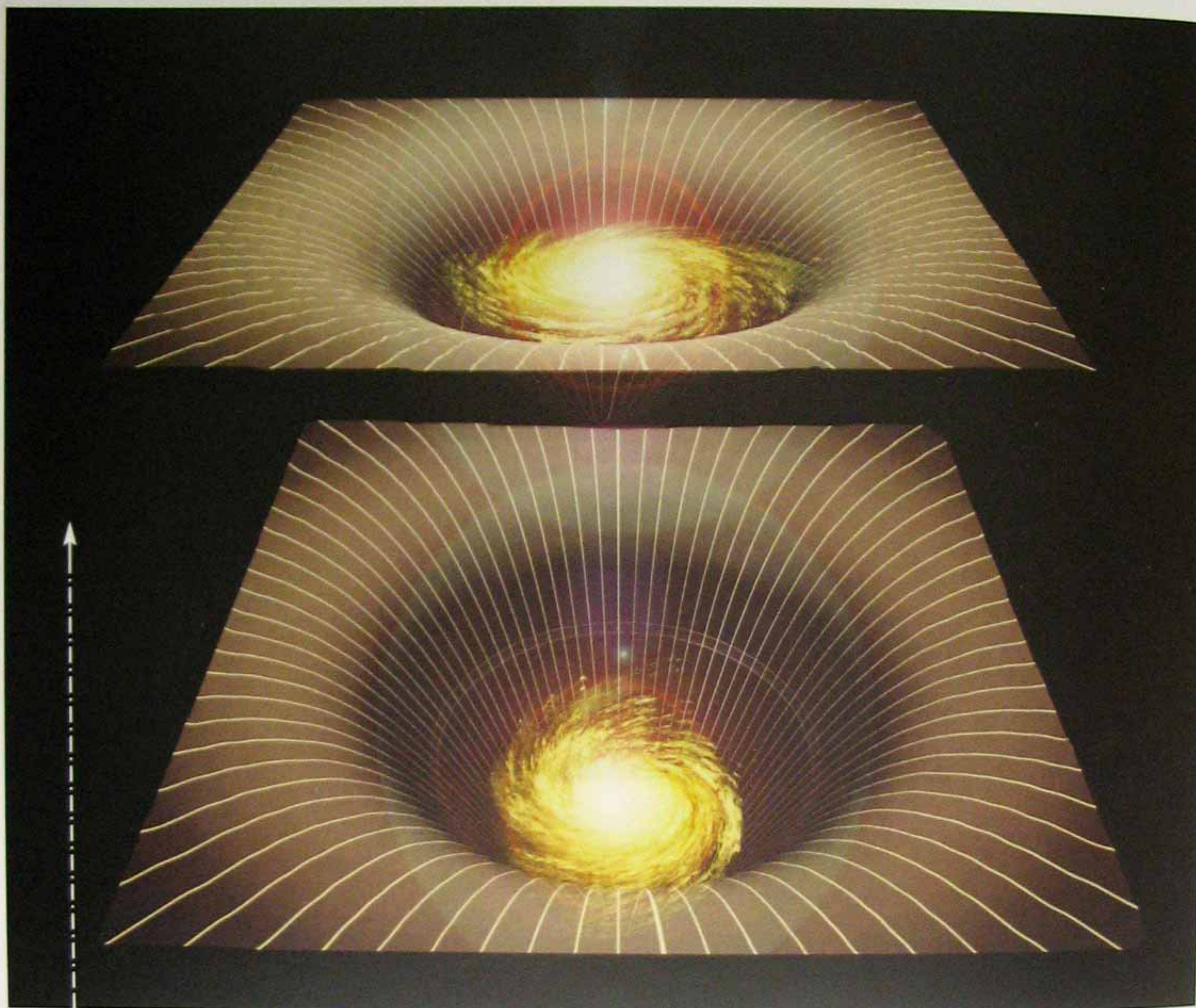


## NATURA MATERIEI ÎNTUNECATE

Cosmologii cred acum că, în timp ce părțile centrale ale galaxiilor spirale sînt alcătuite în principal din stele obișnuite, periferiile lor sînt dominate de materie întunecată care nu poate fi observată direct. Una dintre problemele fundamentale e descoperirea naturii acestei materii întunecate ce domină regiunile periferice ale galaxiilor spirale. Înainte de 1980, se presupunea că această materie întunecată e alcătuită din materie obișnuită formată din protoni, neutroni și electroni într-o formă care nu e ușor detectabilă: probabil nori de gaz sau MACHO — „massive compact halo objects” (obiecte-halo masive și compacte) — cum ar fi piti-

cele albe, stelele neutronice sau chiar găurile negre. Studii recente asupra formării galaxiilor i-au făcut însă pe cosmologi să creadă că o parte semnificativă a materiei întunecate trebuie să difere de materia obișnuită. Poate că ea provine de la masele unor particule elementare foarte ușoare, cum ar fi axionii sau neutrinii. Ea ar putea fi alcătuită chiar din specii mai exotice de particule, ca WIMP — „weakly interacting massive particles” (particule masive care interacționează slab) — care sînt prezise de teoriile moderne ale particulelor elementare, dar care nu au fost încă detectate experimental.





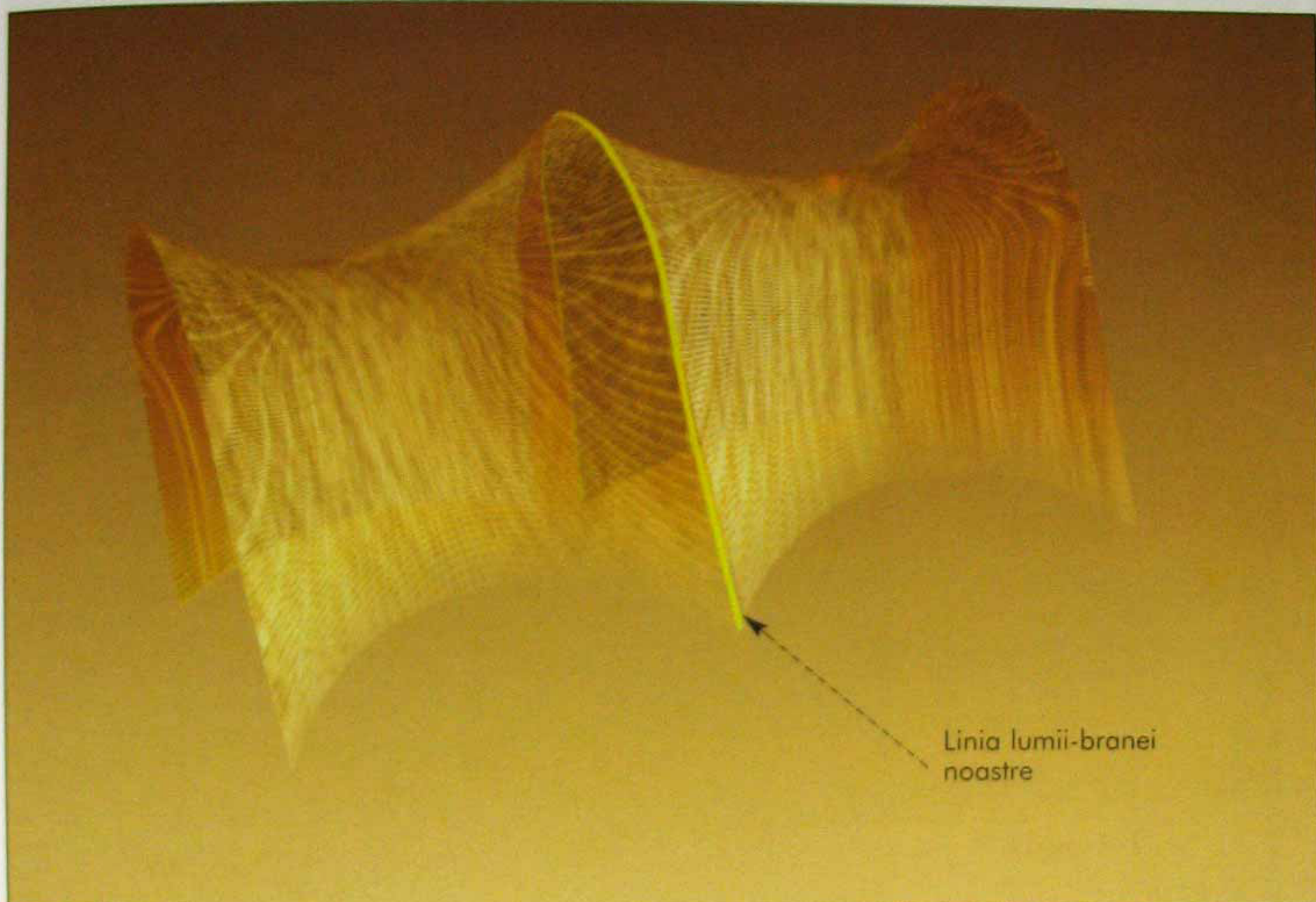
Teritoriul nimănui al dimensiunilor suplimentare dintre brane.

(Fig. 7.13)

Nu am putea vedea o galaxie de pe o brană din umbră, fiindcă lumina nu se propagă prin dimensiunile suplimentare. Gravitația însă o poate face, astfel că rotația galaxiei ar fi influențată de materia întunecată, materie pe care n-o putem vedea.

Această masă lipsă ar putea proveni de la anumite specii mai exotice de particule din lumea noastră, cum ar fi WIMP — „weakly interacting massive particles” (particule masive care interacționează slab) — sau axioni (particule elementare foarte ușoare). Masa lipsă poate fi și dovada existenței unei lumi din umbră, care conține materie. Ar putea conține chiar și ființe umane care își pun întrebări în legătură cu masa ce pare să lipsească din lumea lor pentru a explica orbitele stele-





lor din umbră ce se rotesc în jurul centrului galaxiei din umbră (Fig. 7.13).

În loc ca dimensiunile suplimentare să sfârșească pe o a doua brană, se poate ca ele să fie infinite, dar foarte curbate, ca o șa. Lisa Randall și Raman Sundrum au arătat că o astfel de curbura ar acționa ca o a doua brană: influența gravitațională a unui obiect de pe brană ar fi confinată la o mică vecinătate de pe brană și nu s-ar răspîndi la infinit în dimensiunile suplimentare. Ca și în modelul branei din umbră, cîmpul gravitațional ar avea o scădere cu distanța în acord cu orbitele planetare și cu măsurătorile de laborator asupra forței gravitaționale, dar gravitația ar varia mai rapid pe distanțe scurte.

Există însă o diferență importantă între modelul Randall-Sundrum și modelul branei din umbră. Corpurile care se mișcă sub influența gravitației vor produce unde gravitaționa-

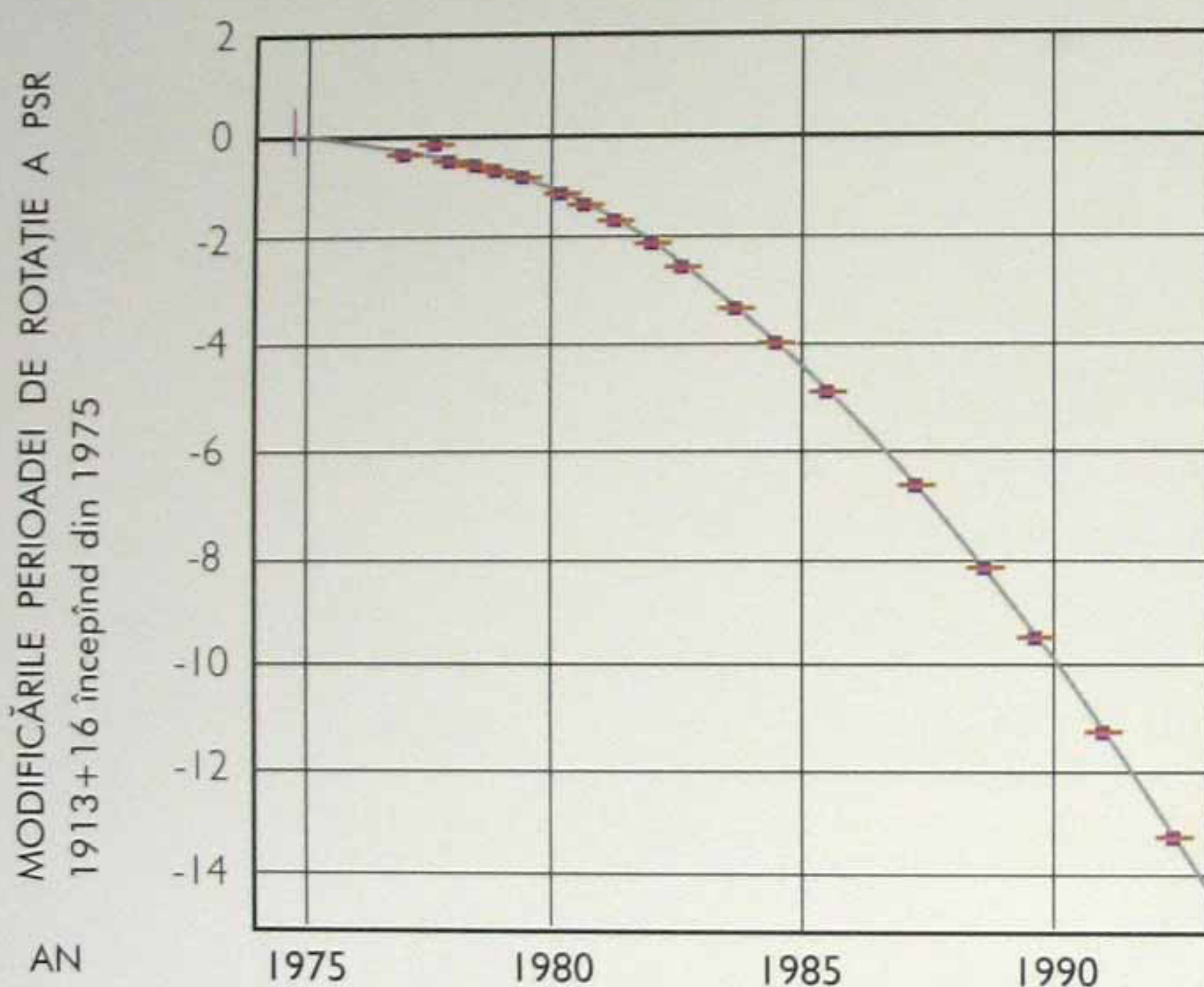
(Fig. 7.14)

În modelul Randall-Sundrum există o singură brană (prezentată aici într-o singură dimensiune). Dimensiunile suplimentare se extind la infinit, dar sînt curbate în formă de șa. Această curbare împiedică cîmpul gravitațional al materiei de pe brană să se răspîndescă departe în dimensiunile suplimentare.





Două stele neutronice compacte care se mișcă în spirală, una spre cealaltă



Graficul pulsarului binar PSR1913+16 începînd din 1975

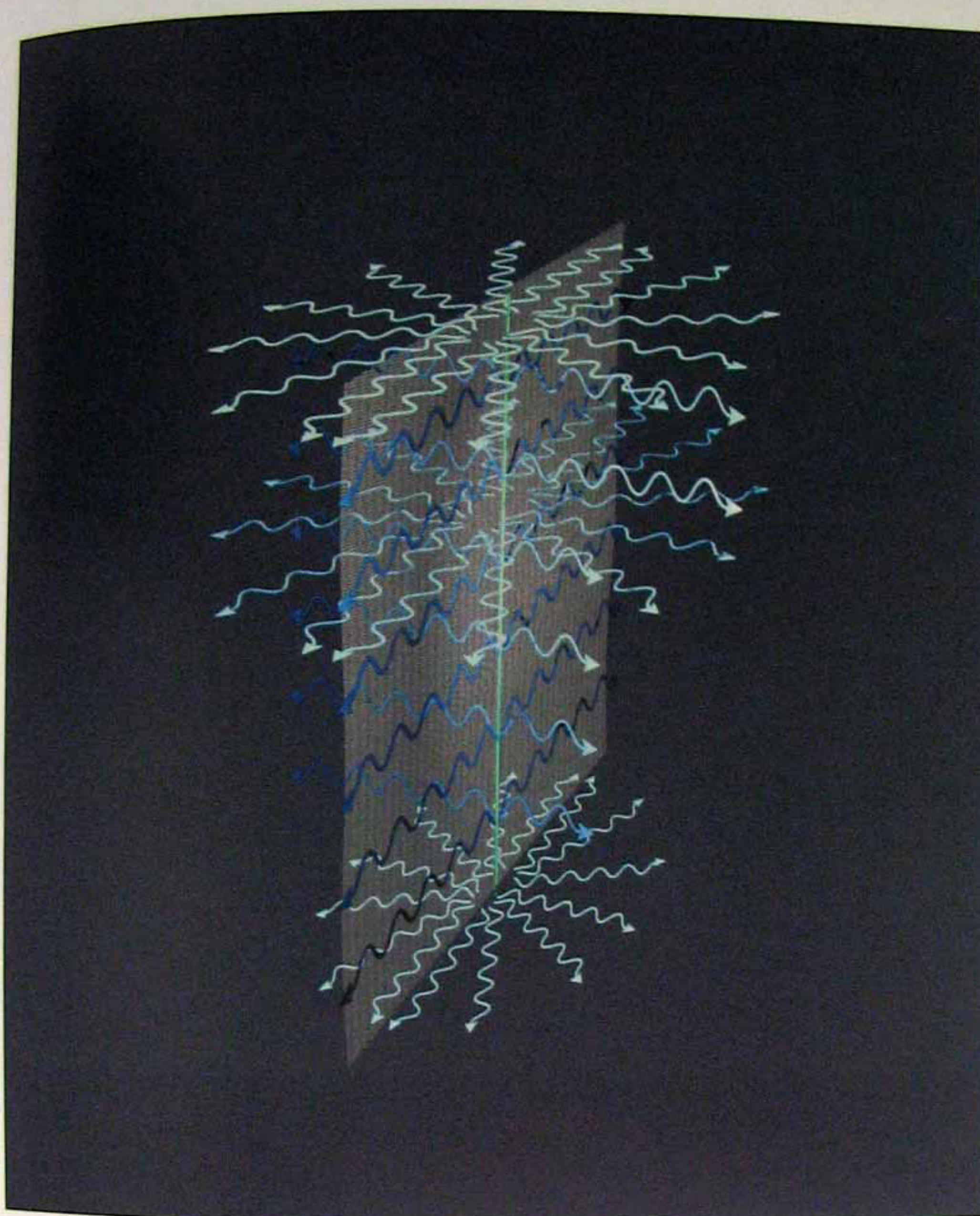
## PULSARI BINARI

Conform relativității generale, obiectele masive în mișcare sub influența gravitației emit unde gravitaționale. Ca și undele luminoase, undele gravitaționale transportă energie de la obiectele care le-au emis. Rata de pierdere a energiei este însă în general extrem de mică, deci foarte dificil de observat. De exemplu, emisia undelor gravitaționale face ca Pământul să se deplaseze încet pe o spirală spre Soare, dar ar trebui să treacă 1027 de ani pentru ca ciocnirea să aibă loc.

În 1975 însă, Russell Hulse și Joseph Taylor au descoperit pulsarul binar PSR1913+16, sistem alcătuit din două stele neutronice rotindu-se una

în jurul celeilalte la o distanță maximă de aproximativ o rază solară. Conform relativității generale, viteza mare de rotație înseamnă că perioada orbitală a acestui sistem ar trebui să scadă într-un timp mult mai scurt datorită emisiei unui puternic semnal de unde gravitaționale. Modificarea prezisă de relativitatea generală e în excelent acord cu observațiile precise făcute de Hulse și Taylor asupra parametrilor orbitali, care indică faptul că, din 1975, perioada de rotație s-a scurtat cu mai mult de zece secunde. În 1993, ei au luat Premiul Nobel pentru această confirmare a relativității generale.





le, valuri în curbură care călătoresc prin spațiu-timp cu viteza luminii. La fel ca undele electromagnetice ale luminii, undele gravitaționale trebuie să transporte energie, predicție confirmată de observațiile asupra pulsarului binar PSR1913+16.

Dacă trăim într-adevăr pe o brană într-un spațiu-timp cu dimensiuni suplimentare, undele gravitaționale generate de mișcarea corpurilor în brana noastră ar călători în celelalte dimensiuni. Dacă ar exista o a doua brană din umbră, undele gravitaționale ar fi reflectate înapoi și ar fi prinse între cele două brane. Pe de altă parte, dacă ar exista o singură brană, iar dimensiunile suplimentare s-ar extinde la infinit, ca în modelul Randall-Sundrum, undele gravitaționale ar scăpa cu totul și ar transporta cu ele energie din brana noastră (Fig. 7.15).

(Fig. 7.15)

În modelul Randall-Sundrum, undele gravitaționale cu o lungime de undă mică pot transporta energie de la sursele de pe brană, provocând o aparentă violare a legii conservării energiei.



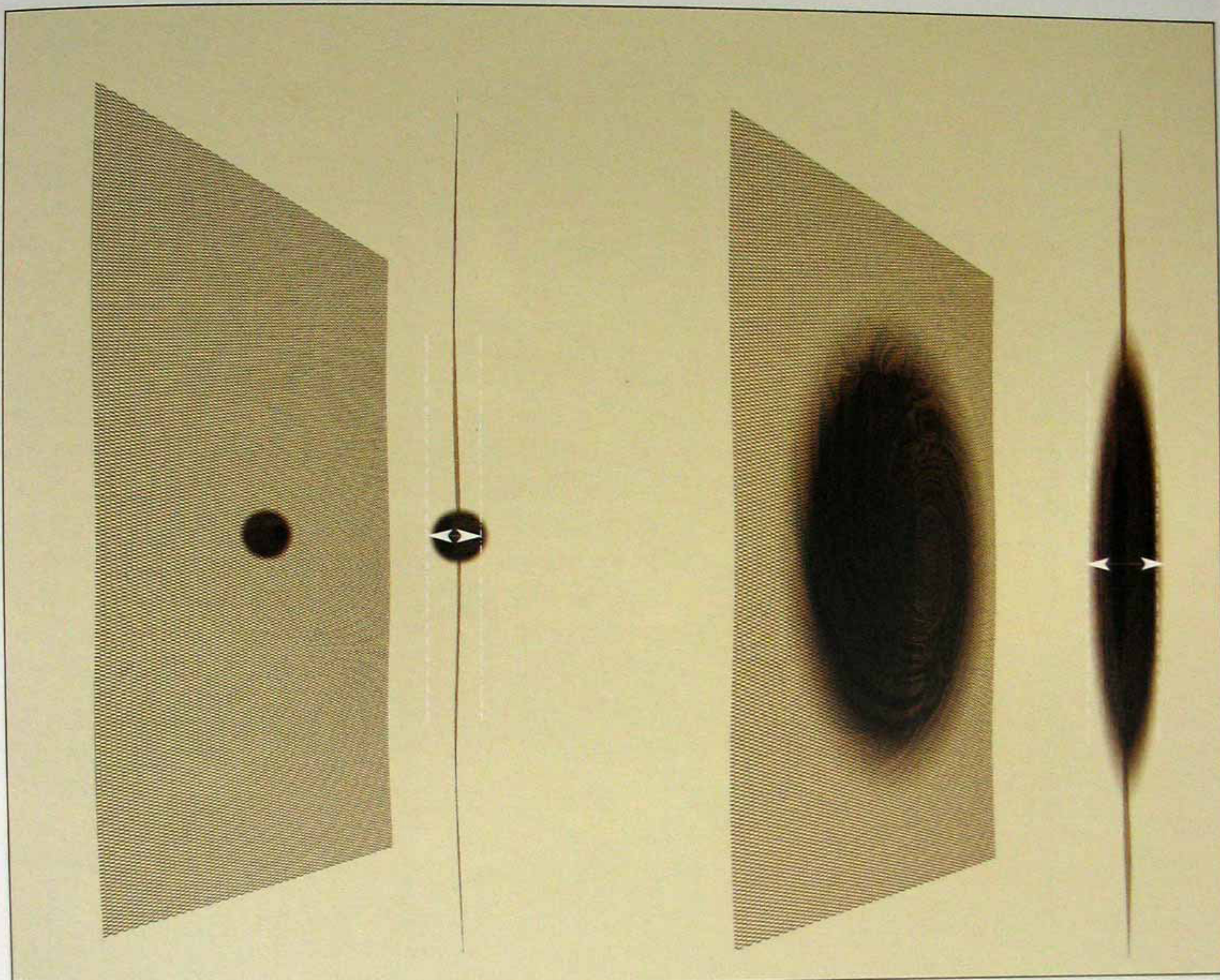
Aceasta pare să dărîme unul dintre principiile fundamentale ale fizicii: legea conservării energiei. Cantitatea totală de energie rămîne aceeași. Violarea e însă doar aparentă, fiindcă vedem numai ce se întîmplă pe brană. Un înger care ar vedea dimensiunile suplimentare ar ști că energia e aceeași, dar mai răspîdită.

Undele gravitaționale produse de două stele ce se rotesc una în jurul celeilalte ar avea o lungime de undă mult mai mare decît raza de curbură a șei dimensiunilor suplimentare. Ele ar fi confinate într-o mică vecinătate a branei — ca și forțele gravitaționale — și nu s-ar răspîndi prea mult în dimensiunile suplimentare, transportînd astfel doar puțină energie de pe brană. Pe de altă parte, undele gravitaționale cu o lungime de undă mai mică decît raza de curbură a dimensiunilor suplimentare ar putea scăpa cu ușurință din vecinătatea branei.

Singurele surse semnificative de unde gravitaționale cu lungime de undă mică par să fie găurile negre. O gaură neagră de pe brană s-ar extinde într-o gaură neagră în dimensiunile suplimentare. Dacă gaura neagră e mică, ea va fi aproape rotundă, adică mărimea ei în dimensiunile suplimentare va fi aceeași ca pe brană. Pe de altă parte, o gaură neagră mare de pe brană se va extinde ca o „clătită neagră” confinată în vecinătatea branei și a cărei grosime (în dimensiunile suplimentare) este mult mai mică decît întinderea ei (pe brană) (Fig. 7.16).

Așa cum am explicat în capitolul 4, teoria cuantică spune că găurile negre nu sînt complet negre: ele emit tot felul de particule și radiație, ca orice obiect fierbinte. Particulele și radiația luminoasă vor fi emise în interiorul branei, deoarece materia și forțele non-gravitaționale, cum ar fi cea electromagnetică, sînt confinate pe brană. Găurile negre însă emit și unde gravitaționale. Ele nu sînt confinate pe brană, putînd la fel de bine să se propage în dimensiunile suplimentare. Dacă gaura neagră e mare și arată ca o clătită neagră, undele gravitaționale rămîn în apropierea branei. Ar însemna că gaura neagră pierde energie (prin urmare masă, conform ecuației  $E = mc^2$ ) în ritmul la care ne așteptăm pentru o gaură neagră din spațiu-timpul cvadridimensional. Astfel, gaura neagră se va evapora încet și se va îngusta pînă cînd va deveni mai mică decît raza de curbură a dimensiunilor suplimentare în formă de șa.





În acest stadiu, undele gravitaționale emise de gaura neagră vor începe să se propage liber în dimensiunile suplimentare. Pentru cineva de pe brană, gaura neagră — sau steaua întunecată după cum a numit-o Michell (vezi capitolul 4) — va părea că emite radiație întunecată, radiație ce nu poate fi observată direct pe brană, dar a cărei existență poate fi dedusă din faptul că gaura neagră pierde masă.

Ar însemna că explozia finală de radiație provenind de la o gaură neagră ce se evaporă ne-ar apărea mai puțin violentă de-

(Fig. 7.16)

O gaură neagră din brana noastră s-ar extinde în dimensiunile suplimentare. Dacă gaura neagră e mică, ea va fi aproape rotundă, pe cînd o gaură neagră mare pe brană se va extinde în dimensiunile suplimentare ca o clătită.





(Fig. 7.17) Formarea unei brane ar putea fi asemănătoare formării bulelor de abur în apa care fierbe.



cît e în realitate. Acesta ar putea fi motivul pentru care nu am observat explozii de raze gama care să poată fi puse pe seama găurilor negre ce dispar, iar o altă explicație, mai prozaică, ar fi că nu există prea multe găuri negre cu masa suficient de mică pentru a se evapora în timpul scurs de la nașterea universului.

Radiația găurilor negre din lumea-brană apare datorită fluctuațiilor cuantice ale particulelor de pe brană și din afara ei, dar branele, ca orice lucru din univers, sînt și ele supuse fluctuațiilor cuantice. Acestea pot provoca apariția și dispariția spontană a branelor. Crearea cuantică a branelor e oarecum asemănătoare formării bulelor de abur în apa care fierbe. Apa lichidă e alcătuită din miliarde și miliarde de molecule  $H_2O$ , ținute laolaltă de interacțiunile dintre moleculele vecine. Pe măsură ce apa se încălzește, moleculele încep să se miște tot mai rapid și ciocnirile devin tot mai dese. Din cînd în cînd, ciocnirile pot transmite moleculelor suficientă energie pentru ca ele să devină libere și să formeze o mică bulă de gaz în interiorul lichidului. Apoi bula va crește sau va scădea, aleator, după cum mai multe molecule din lichid se vor transforma în gaz sau invers. Majoritatea bulelor mici vor colapsa către forma lichidă, dar unele vor reuși să atingă o dimensiune critică dincolo de care e aproape sigur că bulele vor continua să crească. Aceste bule mari în expansiune sînt cele pe care le observăm cînd apa fierbe (Fig. 7.17).

Comportamentul lumilor-brane ar putea fi asemănător. Principiul de incertitudine ar permite lumilor-brane să apară din nimic, ca bulele, brana reprezentînd suprafața bulei, iar spațiul cu dimensiunile suplimentare interiorul bulei. Bulele foarte mici ar tinde să colapseze, dispărînd, dar o bulă care crește prin fluctuații cuantice dincolo de o dimensiune critică ar continua foarte probabil să crească. Ființele care locuiesc pe brană — suprafața bulei — ar crede că universul e în expansiune. Ar fi ca și cum am picta galaxiile pe suprafața unui balon pe care apoi l-am umfla. Galaxiile s-ar îndepărta una de alta, dar nici una din ele n-ar putea fi considerată centrul expansiunii. Să sperăm că nu există cineva, cu un ac cosmic, care să dezumfle balonul.

Conform ipotezei „fără granițe” prezentată în capitolul 3, crearea spontană a unei lumi-brane



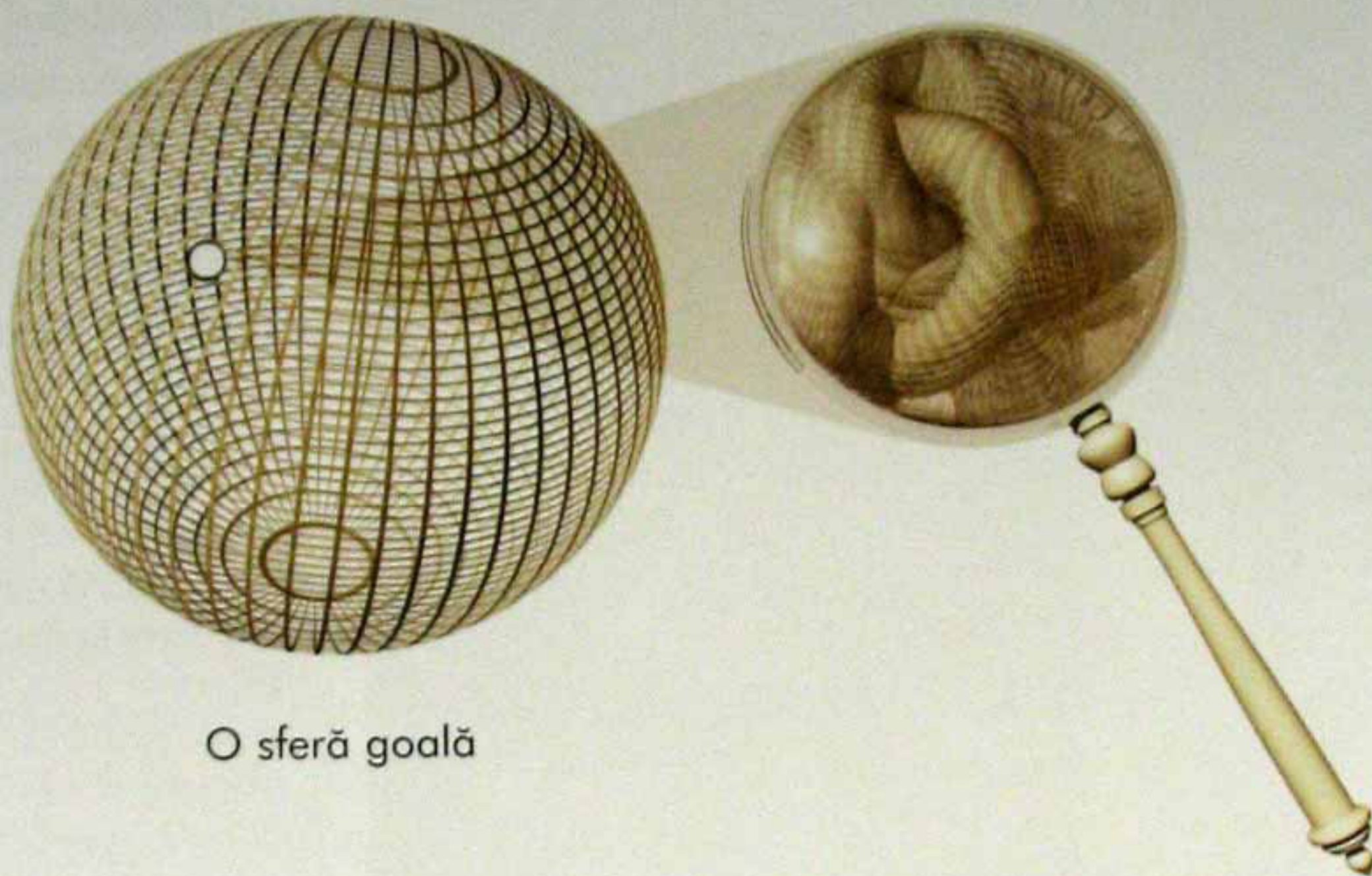


ar avea o istorie în timpul imaginar asemenea unei coji de nucă: o sferă cvadridimensională, ca suprafața Pământului, dar cu două dimensiuni suplimentare. Diferența importantă e că acea coajă de nucă prezentată în capitolul 3 era goală: sfera cvadridimensională n-ar fi frontiera a nimic, iar celelalte șase sau șapte dimensiuni suplimentare pe care le prezice teoria M ar fi toate strâns închise în sine, devenind chiar mai mici decât coaja de nucă. În imaginea noii lumi-brană însă, coaja de nucă ar fi plină: istoria, în timpul imaginar, a branei în care trăim ar fi o sferă cvadridimensională care ar fi frontiera unei bule pentadimensionale, iar cele cinci sau șase dimensiuni suplimentare ar fi foarte strâns închise în sine (Fig. 7.18).

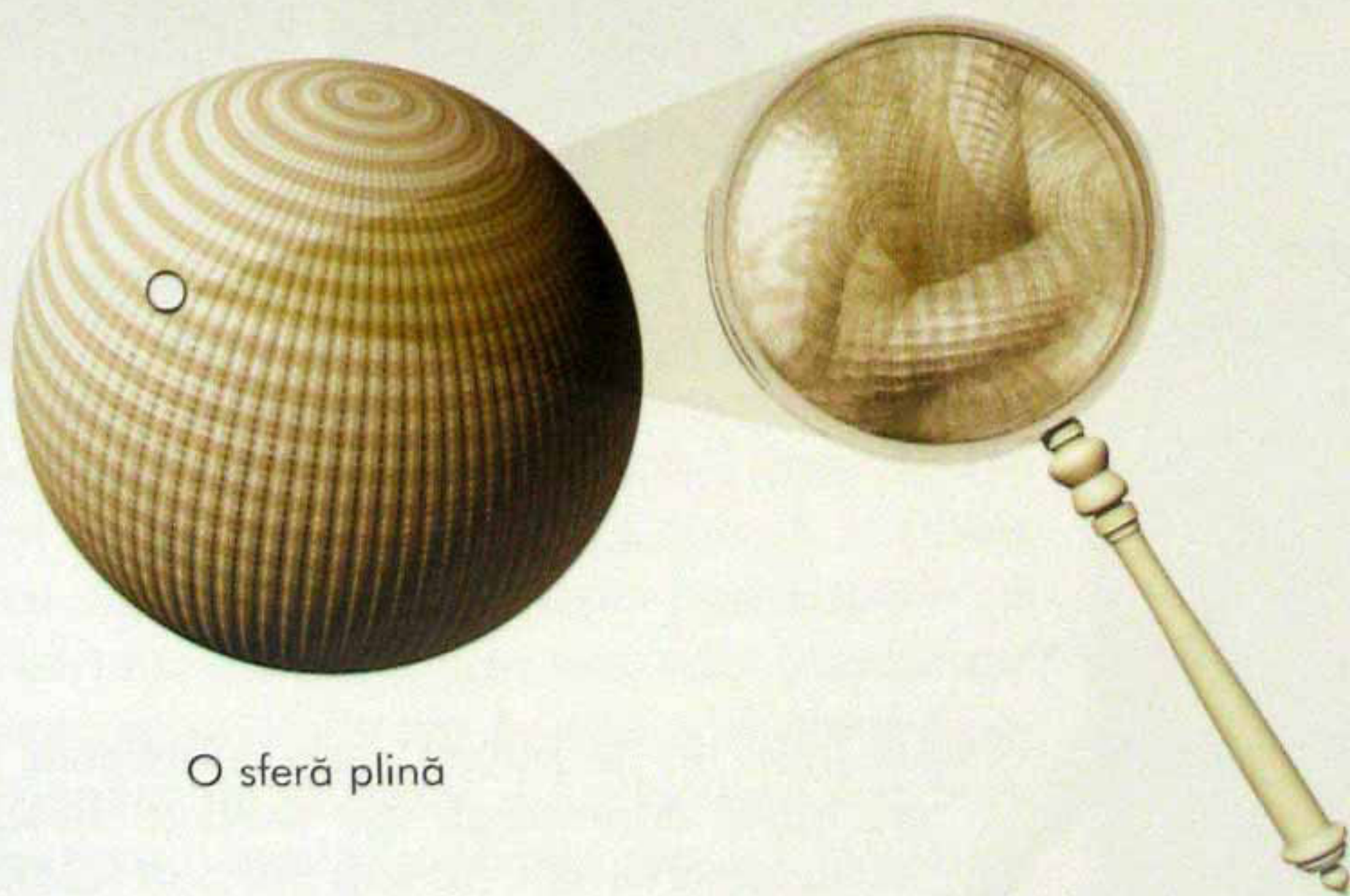
Această istorie a branei în timpul imaginar ar determina istoria branei în timpul real. În timpul real, brana s-ar extinde într-o manieră inflaționistă, accelerată, așa cum am arătat în capitolul 3. O coajă de nucă perfect netedă și rotundă ar reprezenta cea mai probabilă istorie a bulei în timpul imaginar. Dar ea ar corespunde unei brane ce se extinde inflaționist la nesfârșit în timpul real. Galaxiile nu s-ar putea forma pe o asemenea brană și nici viața inteligentă nu s-ar putea dezvolta. Pe de altă parte, istoriile din timpul imaginar care nu sînt perfect netede și rotunde ar avea probabilități ceva mai mici, dar ar corespunde în timpul real unei faze inițiale de expansiune inflaționistă a branei, urmată de o încetinire. În timpul acestei expansiuni încetinite s-ar putea forma galaxiile și s-ar putea dezvolta viața inteligentă. Astfel, conform principiului antropic prezentat în capitolul 3, doar aceste coji de nucă ușor rugoase ar fi observate de ființele inteligente care își pun întrebarea de ce originea universului nu a fost perfect netedă.

Pe măsură ce brana se extinde, volumul spațiului dimensiunilor suplimentare din interior va crește. În cele din urmă, va exista o enormă bulă înconjurată de brana pe care trăim. Dar trăim noi într-adevăr pe brană? Conform ideii holografice prezentată în capitolul 2, informația despre ce se întâmplă într-o regiune a spațiu-timpului poate fi codificată în întregime pe frontiera ei. Poate că ne închipuim că trăim într-o lume cvadridimensională fiindcă sîntem umbre proiectate pe brană de ceea ce se întâmplă în interiorul bulei. Din perspectivă poziti-





O sferă goală

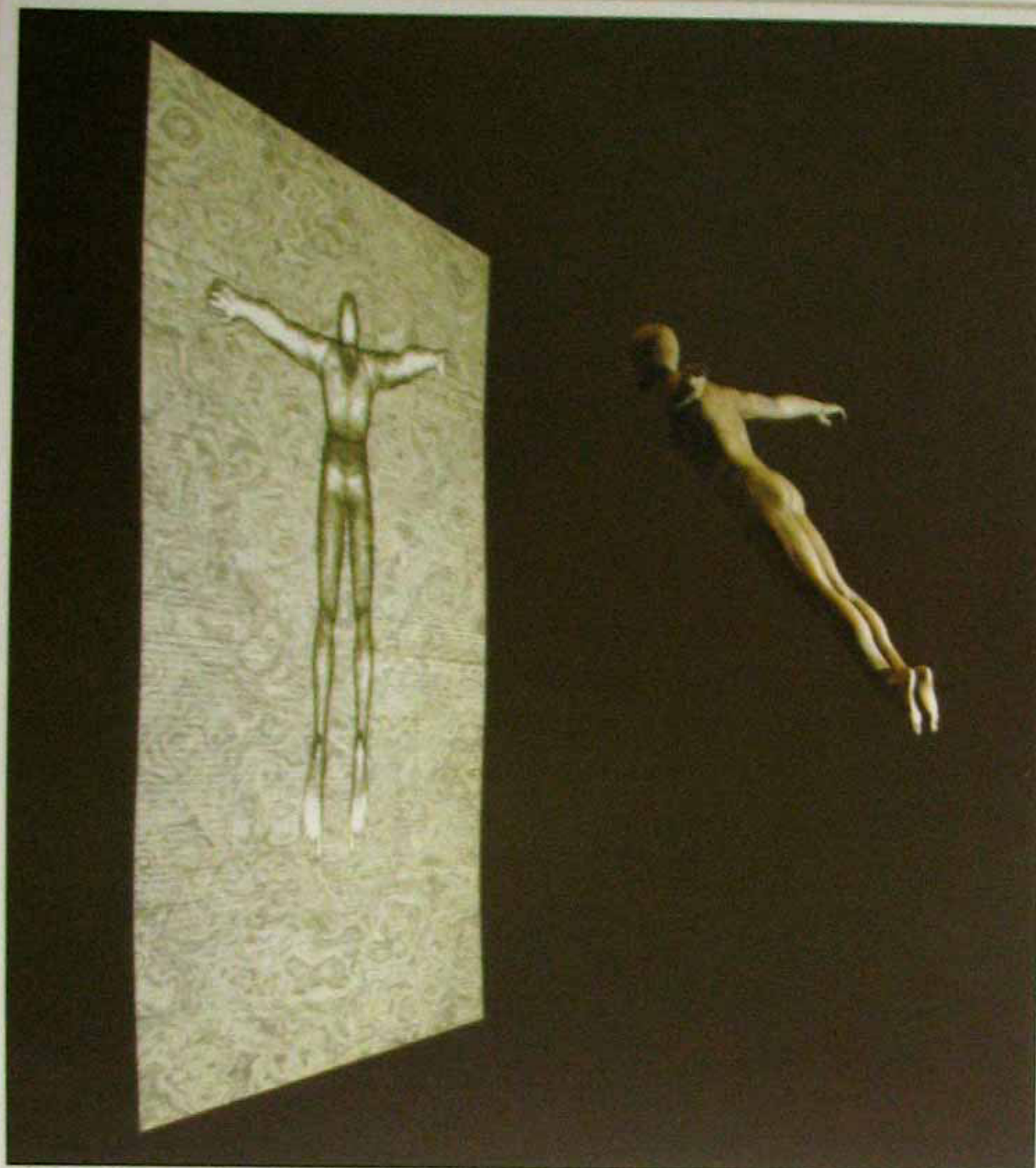


O sferă plină

(Fig. 7.18)

Imaginea lumii-brană despre originea universului e diferită de cea discutată în capitolul 3, deoarece sfera cvadridimensională ușor turtită, sau coaja de nucă, nu mai e goală, ci umplută de o a cincea dimensiune.





### HOLOGRAFIA

Holografia codifică informația dintr-o regiune a spațiului pe o suprafață cu o dimensiune în minus. Aceasta pare să fie o proprietate a gravitației, după cum indică faptul că aria orizontului evenimentelor e o măsură a numărului stărilor interne ale unei găuri negre. În modelul lumii-brană, holografia ar reprezenta o corespondență bijectivă între stările din lumea noastră cvadridimensională și stările din dimensiunile suplimentare. Din perspectivă pozitivistă, nu putem spune care descriere e mai profundă.



vistă însă, nu ne putem pune întrebarea: ce e real, brana sau bula? Amîndouă sînt modele matematice care descriu observațiile. Sîntem liberi să folosim modelul care ne convine. Ce e în afara branei? Există cîteva posibilități (Fig. 7.19):

1. E posibil ca afară să nu fie nimic. Deși o bulă de abur are în jur apă, e doar o analogie pentru a vizualiza originea universului. Ne putem închipui un model matematic în care



există doar o brană cu un spațiu cu dimensiuni suplimentare în interior, dar fără nimic în exterior, nici măcar spațiul gol. Putem calcula predicțiile modelului matematic, fără a ne raporta la ce e în afară.

2. Putem avea un model matematic în care exteriorul unei bule să fie legat de exteriorul unei bule similare. Acest model e de fapt echivalent matematic cu cel de mai sus, în care nu e nimic în exteriorul bulei, diferența fiind doar de ordin psihologic: oamenii se simt mai bine dacă sînt plasați în centrul spațiu-timpului decît la periferia lui, dar, pentru un pozitivist, variantele 1 și 2 sînt echivalente.

3. Bula ar putea să se extindă într-un spațiu care să nu fie o imagine în oglindă a ceea ce e în interiorul bulei. Această posibilitate diferă de cele de mai sus, fiind mai degrabă asemănătoare apei care fierbe. Alte bule se pot forma și dilata. Dacă ele s-ar ciocni și s-ar uni cu bula în care trăim, rezultatele ar fi catastrofale. S-a sugerat chiar că însăși marea explozie ar putea fi urmarea unei ciocniri între brane.

Modelele lumilor-brane reprezintă un subiect de cercetare fierbinte. Ele sînt foarte abstracte, dar prezic noi tipuri de fenomene care pot fi testate prin observații. Ele ar putea explica de ce gravitația pare să fie atît de slabă. Gravitația ar putea fi foarte puternică în teoria fundamentală, dar răspîndirea forței gravitaționale în dimensiunile suplimentare ar face ca, pe brana pe care trăim, să fie slabă la distanțe mari.

O consecință ar fi că lungimea Planck, cea mai mică distanță pe care o putem sonda fără a crea o gaură neagră, ar putea fi semnificativ mai mare decît o indică slaba gravitație de pe brana noastră cvadridimensională. Cea mai mică păpușă rusească n-ar fi la urma urmei chiar atît de mică și ar putea fi accesibilă acceleratoarelor de particule ale viitorului. De fapt, poate că am fi descoperit deja cea mai mică păpușă, lungimea fundamentală Planck, dacă Statele Unite nu ar fi trecut printr-o criză în 1994 și nu ar fi oprit construcția superacceleratorului SSC (Superconducting Super Collider), deși era pe jumătate gata. Alte acceleratoare de particule, de pildă LHC din Geneva, sînt construite în prezent (Fig. 7.20). Cu ajutorul lor

(Fig. 7.19)



1. O brană/bulă în interiorul căreia e un spațiu cu dimensiunile suplimentare, iar în exterior nimic.

Echivalent

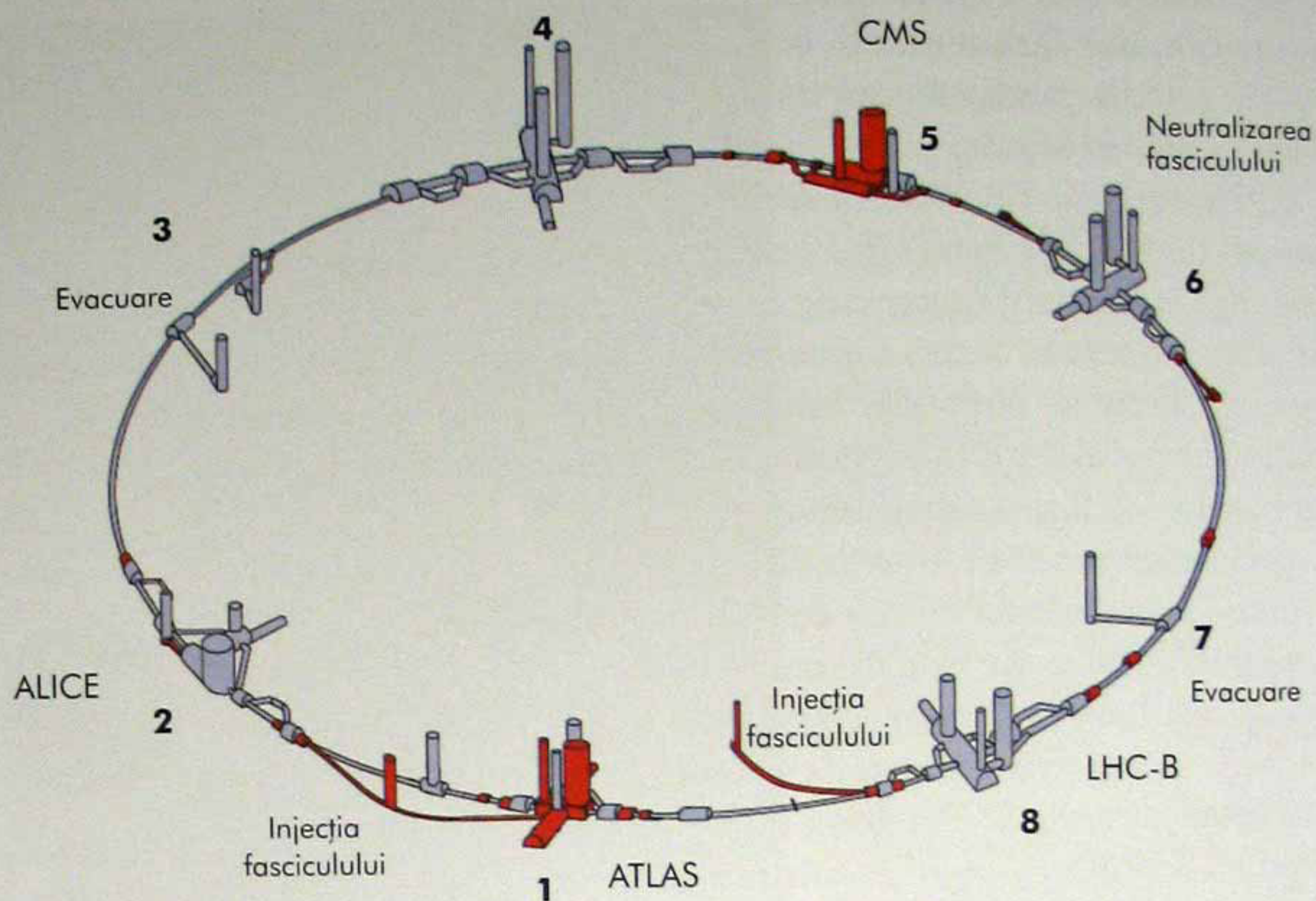


2. Posibilitatea ca exteriorul unei brane/bule să fie legat de exteriorul altei brane/bule.



3. O brană/bulă extinzîndu-se într-un spațiu care nu e imaginea în oglindă a interiorului. În acest scenariu, alte bule s-ar putea forma și extinde.





Construcții viitoare ————  
Construcții subterane existente ————

Fig. (7.20)

Schița tunelului LEP. Sînt indicate infrastructura existentă și construcția viitoare a LHC (Large Hadron Collider) din Geneva, Elveția.

și al altor observații, cum ar fi cele asupra radiației de micro-unde de fond, vom putea afla dacă trăim sau nu pe o brană. Dacă e adevărat, aceasta se întîmplă pesemne fiindcă principiul antropic alege modelele de brane din vasta faună permisă de teoria M. Am putea atunci s-o parafrazăm pe Miranda din *Furtuna* lui Shakespeare:

*O, brană lume nouă  
Avînd fapte atît de-alese.*

Acesta este universul într-o coajă de nucă.







## Glosar

- A** doua lege a termodinamicii  
Lege care afirmă că entropia crește întotdeauna, ea neputînd niciodată descrește.
- Abordare pozitivistă**  
Ideea că o teorie fizică este un model matematic care descrie și codifică observațiile pe care le facem.
- Accelerator de particule**  
Dispozitiv care poate accelera particulele ce posedă sarcină electrică, crescîndu-le astfel energia.
- Accelerație**  
Schimbare în viteza sau direcția de mișcare a obiectelor. *Vezi de asemenea* viteză.
- ADN**  
Acid deoxiribonucleic, alcătuit din fosfați, un zahăr și patru baze: adenina, guanina, tiamina și citozina. Două lanțuri de ADN formează o structură elicoidală dublă ce se aseamănă cu o scară în spirală. ADN-ul conține toată informația de care celulele au nevoie pentru a funcționa și a se reproduce, jucînd un rol vital în transmiterea ereditară a caracterelor.
- Amplitudine**  
Înălțimea maximă a vârfului sau adîncimea maximă a văii unei unde.
- An lumină**  
Distanța parcursă de lumină într-un an.
- Antiparticulă**  
Pentru fiecare tip de particulă de materie există o antiparticulă corespunzătoare. Atunci cînd o particulă se ciocnește cu antiparticula sa, ele se anihilează, lăsînd în urmă doar energie.
- Atom**  
Unitatea de bază a materiei obișnuite, compusă dintr-un mic nucleu (alcătuit la rîndul lui din protoni și neutroni) și din electroni ce orbitează în jurul său.
- Boson**  
Particulă sau mod de vibrație a unei corzi, pentru care spinul este un număr întreg.
- Brană**  
Obiect care pare să fie un ingredient fundamental al teoriei M și care poate avea un număr variat de dimensiuni spațiale. În general, o p-brană este exinsă în p direcții, o 1-brană este o coardă, o 2-brană este o suprafață sau o membrană etc.
- Bucă temporală**  
Alt nume pentru o curbă de tip temporal închisă.
- Cîmp**  
Ceva ce există peste tot în spațiu și timp, spre deosebire de particulă, care există doar într-un singur loc la un anumit moment.
- Cîmp de forță**  
Modalitatea prin care o forță își transmite influența la distanță.
- Cîmp gravitațional**  
Modalitatea prin care gravitația își transmite influența.
- Cîmp magnetic**  
Cîmpul răspunzător de forțele magnetice.
- Cîmp Maxwell**  
Sinteza electricității, magnetismului și luminii în cîmpuri dinamice care pot oscila și se pot propaga în spațiu.
- Coardă (String)**  
Obiect fundamental unidimensional al teoriei corzilor, care înlocuiește conceptul de



particulă elementară lipsită de structură. Diferitele moduri de vibrație a corzii corespund diferitelor particule elementare.

#### Coardă cosmică

Obiect lung și masiv, cu o secțiune transversală foarte mică, despre care se presupune că ar fi fost produs în stadiile timpurii ale universului. O astfel de coardă s-ar putea întinde de-a lungul întregului univers.

#### Coardă închisă

Tip de coardă în formă de buclă.

#### Con luminos

Suprafață în spațiu-timp care determină direcțiile posibile ale razelor de lumină ce trec printr-un eveniment.

#### Condiții de frontieră

Starea inițială a unui sistem fizic sau, mai general, starea sistemului pe frontiera unui domeniu din spațiu-timp.

#### Condiții inițiale

Starea unui sistem fizic la începutul evoluției sale.

#### Conjectura Protecției Cronologice

Ideea că legile fizice conspiră pentru a împiedica obiectele macroscopice să călătorească în timp.

#### Conservarea energiei

Principiu care afirmă că energia (sau echivalentul său în masă) nu poate fi nici creată și nici distrusă.

#### Constanta cosmologică

Artificiu matematic folosit de Einstein pentru a da universului o tendință intrinsecă de expansiune, permițând astfel teoriei generale a relativității să prezică un univers static.

#### Constanta Planck

Piatra de temelie a principiului de incertitudine — produsul dintre incertitudinile în măsurarea poziției și vitezei trebuie să fie mai mare decât constanta Planck. Se notează cu simbolul  $\hbar$ .

#### Contracție Lorentz

Micșorarea dimensiunii obiectelor în mișcare de-a lungul direcției de deplasare, așa cum este prezisă de relativitatea restrânsă.

#### Cosmologie

Studiul universului ca întreg.

#### Cuantă

Cantitate indivizibilă în care undele pot fi absorbite sau emise.

#### Cuarc

Particulă elementară cu sarcină electrică și care simte forța de tip tare. Cuarcii există în șase „arome” („flavors”): up (sus), down (jos), strange (straniu), charm (farmec), top (cel din vîrf), bottom (cel de la bază), fiecare aromă putînd apărea în una din următoarele trei „culori”: roșu, verde și albastru.

#### Deplasare spre albastru

Micșorarea lungimii de undă a radiației emisă de un obiect în mișcare spre observator, provocată de efectul Doppler.

#### Deplasare spre roșu

„Înroșirea” radiației emise de un obiect care se îndepărtează, provocată de efectul Doppler.

#### Determinism științific

Concepție mecanicistă asupra universului conform căreia cunoașterea completă a stării universului la un anumit moment per-



mite precizarea completă a stărilor din viitor sau din trecut; a fost sugerat de Laplace.

#### Dilatare temporală

Trăsătură a relativității restrânse conform căreia trecerea timpului va fi mai lentă pentru un observator care se deplasează. Acest fenomen apare și în prezența unui câmp gravitațional intens.

#### Dimensiune închisă în sine.

O dimensiune spațială care este curbată atât de mult încât poate scăpa observației.

#### Dimensiune spațială

Oricare dintre cele trei dimensiuni ale spațiu-timpului care sînt de tip spațial.

#### Dualismul undă/corpuscul

Concept al mecanicii cuantice conform căruia nu există nici o deosebire între unde și particule; particulele se pot comporta ca unde și invers.

#### Dualitate

Corespondență între teorii aparent diferite, dar care conduc la aceleași rezultate fizice.

#### Eclipsă solară

Perioadă de întuneric care apare atunci cînd luna se interpune între Pămînt și Soare, avînd o durată tipică de cîteva minute. În 1919, în timpul unei eclipse vizibilă în Africa de Vest, au fost eliminate orice dubii privitor la validitatea relativității generale.

#### Ecuția Schrödinger

Ecuție ce determină evoluția funcției de undă în teoria cuantică.

#### Efectul Casimir

Presiunea atractivă dintre două plăci metalice paralele, plasate în vid foarte aproape una de alta. Presiunea este datorată reducerii numărului de particule virtuale în spațiul dintre plăci.

#### Efectul Doppler

Modificarea frecvenței și lungimii de undă a undelor sonore sau de lumină pe care un observator o percepe atunci cînd sursa se mișcă față de el.

#### Efectul fotoelectric

Modalitatea prin care anumite metale emit electroni în urma interacției cu o radiație luminoasă.

#### Electron

Particulă cu sarcină electrică negativă ce orbitează în jurul nucleului atomic.

#### Energia vidului

Energie care este prezentă chiar și în spațiul aparent gol. Are o proprietate stranie: spre deosebire de prezența masei, prezența energiei vidului pare să crească viteza de expansiune a universului.

#### Entropie

Măsură a dezordinii dintr-un sistem fizic; numărul de configurații microscopice diferite ale unui sistem corespunzînd unei stări macroscopice unice.

#### Eter

Mediu nematerial ipotetic despre care se credea cîndva că ar umple tot spațiul. Ideea că un astfel de mediu e necesar pentru explicarea propagării radiației electromagnetice nu mai e justificată.

#### Eveniment

Punct în spațiu-timp precizat prin locul și timpul său.

#### Fără condiții la limită

Ideea că universul este finit, dar nu are margini în timpul imaginar.

#### Fermion

Particulă sau mod de vibrație a unei corzi al cărei spin este un număr semiîntreg.

#### Figură de interferență

Amprenta vizuală a undei ce apare în urma suprapunerii a două sau mai multe unde emise din locuri diferite sau la momente de timp diferite.

#### Fisiune nucleară

Procesul prin care un nucleu se scindează în două sau mai multe nuclee mai mici, proces ce are loc cu eliberarea unei cantități de energie.



### Forță electromagnetică

Forță care apare între două particule cu sarcină electrică de același semn (sau de semne opuse).

### Forță gravitațională

Cea mai slabă dintre cele patru forțe fundamentale din natură.

### Forță slabă

A doua ca intensitate (în ordine crescătoare) dintre cele patru forțe fundamentale, avînd o rază de acțiune foarte scurtă. Ea afectează toate particulele materiale, dar nu afectează particulele care mijlocesc interacțiunile.

### Forță tare

Cea mai puternică dintre cele patru forțe fundamentale, dar avînd cea mai scurtă rază de acțiune dintre toate. Ea ține cuarcii laolaltă pentru a forma protonii și neutronii. De asemenea, ține împreună protonii și neutronii pentru a forma nucleeele atomice.

### Foton

Cuantă de lumină; cea mai mică cantitate de cîmp electromagnetic.

### Frecvență

Pentru o undă, numărul de oscilații complete într-o secundă.

### Funcție de undă

Concept fundamental în mecanica cuantică; fiecărui punct din spațiu îi este asociat un număr care determină probabilitatea ca particula să se afle în acel punct.

### Fuziune nucleară

Procesul prin care două nuclee se ciocnesc și se unesc, ducînd la formarea unui nucleu mai mare.

### Gaură de vierme (Wormhole)

Regiune a spațiu-timpului în forma unui tub ce leagă două regiuni depărtate ale universului. Găurile de vierme pot de asemenea lega universuri paralele sau pot face

conexiuni cu universuri copil (*baby universes*). Găurile de vierme ar putea face posibilă călătoria în timp.

### Gaură neagră

Regiune în spațiu-timp din care nimic, nici măcar lumina, nu poate scăpa, motivul fiind gravitația foarte puternică.

### Gaură neagră primordială

Gaură neagră apărută în universul timpuriu.

### Gravitație cuantică

Teorie care combină mecanica cuantică și relativitatea generală.

### Greutate

Forța exercitată asupra unui corp de un cîmp gravitațional. Este proporțională cu masa corpului.

### Infinit

Întindere nemărginită sau număr nesfîrșit.

### Inflație

Scurtă perioadă de expansiune accelerată în timpul căreia dimensiunea universului timpuriu a crescut cu un factor enorm.

### Kelvin

Scară de temperatură în care temperatura este raportată la zero absolut.

### Legea Moore

Lege care afirmă că puterea de calcul a calculatoarelor se dublează la fiecare optsprezece luni. Este evident totuși că aceasta nu poate continua la nesfîrșit.

### Legile de mișcare ale lui Newton

Legi ce descriu mișcarea corpurilor avînd la bază conceptele de spațiu absolut și timp absolut. Aceste legi au dominat fizica pînă la descoperirea teoriei restrînse a relativității de către Einstein.



**Lume-brană** (*Brane world*)

O suprafață sau o brană cvadridimensională într-un spațiu-timp cu mai mult de patru dimensiuni.

**Lungime de undă**

Distanța dintre două creste (sau două văi) consecutive ale unei unde.

**Lungime Planck**

Aproximativ  $10^{-35}$  centimetri. Dimensiunea tipică a unei corzi în teoria corzilor.

**Macroscopic**

Suficient de mare pentru a putea fi văzut cu ochiul liber; în general se referă la dimensiuni mai mari de 0,01 mm. Dimensiunile mai mici decât această valoare se spun că sînt microscopice.

**Marea explozie** (*Big bang*)

Singularitatea de la începutul universului, de acum aproximativ 15 miliarde de ani.

**Marea implozie** (*Big crunch*)

Numele dat unui posibil scenariu al sfîrșitului universului, cînd tot spațiul și materia vor colapsa pentru a forma o singularitate.

**Masă**

Cantitatea de materie dintr-un obiect; inerția sau rezistența la accelerație în spațiul liber.

**Materie întunecată** (*Dark matter*)

Acea materie din galaxii și roiuri de galaxii, poate și dintre roiurile de galaxii, care nu poate fi observată direct, dar poate fi detectată prin cîmpul său gravitațional. Aproximativ nouăzeci la sută din materia din univers este materie întunecată.

**Mecanică cuantică**

Acele legi care guvernează domeniul microscopic al atomilor, protonilor etc.; s-a dezvoltat pornind de la principiul cuantic al lui Planck și de la principiul de incertitudine al lui Heisenberg.

**Modelul Randall-Sundrum**

Teorie conform căreia trăim pe o brană într-un spațiu infinit cu cinci dimensiuni, avînd o curbura negativă în formă de șa.

**Modelul standard al cosmologiei**

Teoria big bang-ului (marii explozii) completată cu înțelegerea modelului standard al fizicii particulelor elementare.

**Modelul standard al particulelor elementare**

Teorie care unifică trei dintre cele patru forțe fundamentale (mai puțin cea gravitațională).

**Neutrîn**

Particulă fără sarcină electrică, ce nu poate interacționa decît prin forțe de tip slab cu alte particule.

**Neutron**

Particulă fără sarcină electrică, foarte asemănătoare protonului, care contribuie cu aproximativ jumătate la numărul total de particule dintr-un nucleu atomic. Este compus din trei cuarci (doi de tip „down” și unul de tip „up”).

**Nucleu**

Partea centrală a unui atom, constituită din protoni și neutroni ținuti laolaltă de forțe de tip tare.

**Număr imaginar**

Construcție matematică abstractă. Ne putem închipui că numerele reale și imaginare desemnează pozițiile punctelor într-un plan în care axele pe care sînt reprezentate părțile reală, respectiv imaginară, ale unui număr complex sînt perpendiculare.

**Numere Grassman**

Clasă de numere care nu comută. Pentru numerele reale nu are importanță ordinea în care ele sînt înmulțite:  $A \times B = C$  și  $B \times A = C$ . Numerele Grassman însă anticomută, astfel încît  $A \times B$  este același lucru cu  $-B \times A$ .



**Observator**

Persoană sau echipament care măsoară proprietățile fizice ale unui sistem.

**Orizontul evenimentelor**

Frontiera unei găuri negre; frontiera unei regiuni din care nimic nu se poate îndepărta la infinit.

**Particulă elementară**

Particulă despre care se crede că nu mai poate fi subdivizată.

**Particulă virtuală**

Existența ei este prezisă de teoria cuantică; e o particulă care nu poate fi detectată direct, dar a cărei existență provoacă efecte măsurabile. *Vezi de asemenea* efectul Casimir.

**P-brană**

Brană cu  $p$  dimensiuni. *Vezi de asemenea* Brană.

**Pozitron**

Antiparticula electronului, avînd sarcină pozitivă.

**Principiul antropic**

Ideea că vedem universul așa cum este pentru că, dacă ar fi altfel, nu am fi aici pentru a-l vedea.

**Principiul cuantic al lui Planck**

Ideea că undele electromagnetice (de exemplu, lumina) nu pot fi emise sau absorbite decît discret, în cuante.

**Principiul de excluziune**

Ideea conform căreia două particule identice de spin 1 nu pot avea (în limita principiului de incertitudine) amîndouă aceeași poziție și aceeași viteză.

**Principiul de incertitudine (nedeterminare)**

Principiu formulat de Heisenberg, care afirmă că poziția și viteza unei particule nu pot fi măsurate simultan cu o precizie oricît de mare. Cu cît o măsurăm mai exact pe

una dintre ele, cu atît o putem măsura mai puțin exact pe cealaltă.

**Proton**

Particulă cu sarcină electrică pozitivă, foarte asemănătoare neutronului, care contribuie cu aproximativ jumătate la numărul total de particule dintr-un nucleu atomic. Este compus din trei cuarci (doi de tip „up” și unul de tip „down”).

**Radiația de fond de microunde**

Radiația ce provine din fazele incandescente ale universului timpuriu; în prezent este atît de deplasată spre roșu încît apare nu ca lumină, ci ca microunde (unde radio cu o lungime de undă de cîtiva centimetri).

**Radiație**

Energia transmisă de unde sau particule prin spațiu sau un alt mediu.

**Radioactivitate**

Transformarea spontană a unui nucleu de un anumit tip într-un nucleu de un tip diferit.

**Relativitate generală**

Teorie a lui Einstein ce are la bază ideea că legile fizicii trebuie să fie aceleași pentru toți observatorii, indiferent de modul în care ei se mișcă. Ea explică forța gravitațională prin curbura spațiu-timpului cva-dridimensional.

**Relativitate restrînsă**

Teoria lui Einstein bazată pe ideea că legile fizicii trebuie să fie aceleași pentru toți observatorii, indiferent de felul în care ei se mișcă, în absența cîmpului gravitațional.

**Sarcină electrică**

Proprietate a unei particule datorită căreia ea poate respinge (sau atrage) o altă particulă care are o sarcină electrică de același semn (sau de semn contrar).



**Secundă lumină**

Distanța parcursă de lumină într-o secundă.

**Singularitate**

Punct în spațiu-timp în care curbura devine infinită.

**Singularitate goală (*Naked singularity*)**

Singularitate spațio-temporală care nu e înconjurată de o gaură neagră și care este vizibilă unui observator aflat la distanță.

**Spațiu liber**

Porțiune de spațiu vid ce nu conține nici un câmp, adică în care nu acționează nici o forță.

**Spațiu-timp**

Spațiu matematic cvadridimensional ale cărui puncte reprezintă evenimente.

**Spectru**

Frecvențele componente ale unei unde. Partea vizibilă a spectrului solar poate fi uneori observată sub forma curcubeului.

**Spin**

Proprietate internă a particulelor elementare înrudită (fără a fi identică) cu fenomenul curent al rotației unui corp în jurul propriei axe.

**Stare fundamentală**

Stare a unui sistem corespunzând valorii minime a energiei.

**Stare staționară**

O stare care nu se schimbă în timp.

**Supergravitație**

Set de teorii ce unifică relativitatea generală cu teoriile supersimetrice.

**Supersimetrie**

Principiu care pune în corespondență proprietățile particulelor cu diferite valori ale spinului.

**Teoreme privind singularitățile**

Teoreme care arată că trebuie să existe o singularitate — loc în care relativitatea generală încetează a mai funcționa — dacă

sînt îndeplinite anumite condiții; în particular, universul trebuie să fi început printr-o singularitate.

**Teoria clasică**

Teorie bazată pe concepte fundamentate înainte de apariția teoriei relativității și a mecanicii cuantice. Teoria clasică presupune că obiectele au poziții și viteze bine definite. Așa cum arată principiul de incertitudine al lui Heisenberg, această presupunere s-a dovedit a nu fi adevărată la scara distanțelor foarte mici.

**Teoria corzilor (*String theory*)**

Teorie în care particulele sînt descrise ca unde pe corzi; unifică mecanica cuantică cu relativitatea generală. Cunoscută și sub numele de teoria supercorzilor (*superstrings*).

**Teoria holografică**

Ideea că informația despre stările cuantice ale unui sistem într-o regiune a spațiu-timpului poate fi conținută în întregime pe frontiera acelei regiuni.

**Teoria M**

Teorie care unifică toate cele cinci teorii ale corzilor, precum și supergravitația, într-un singur cadru teoretic care nu este încă pe deplin înțeles.

**Teoria Marii Unificări**

Teorie care unifică forțele electromagnetice, tare și slabă.

**Teoria newtoniană a gravitației universale**

Teorie conform căreia tăria atracției dintre două corpuri depinde de masa lor și de distanța dintre ele; ea este proporțională cu produsul maselor și invers proporțională cu pătratul distanței dintre cele două corpuri.

**Teoria Yang-Mills**

Extensie a teoriei câmpului a lui Maxwell, care descrie interacțiunile dintre forțele slabă și tare.



**Teorie unificată**

Orice teorie care descrie toate cele patru forțe fundamentale și toate tipurile de materie într-un cadru unitar.

**Termodinamică**

Studiul relațiilor dintre energie, lucru mecanic, căldură și entropie într-un sistem fizic dinamic.

**Timp absolut**

Concept conform căruia ar exista un ceas universal. Teoria relativității a lui Einstein a arătat că un asemenea concept e imposibil.

**Timp imaginar**

Timpul măsurat folosind numerele imaginare.

**Timp Planck**

Aproximativ  $10^{-43}$  secunde; timpul necesar luminii pentru a parcurge lungimea Planck.

**Undă electromagnetică**

Perturbație de tip undă într-un câmp electric. Toate undele din spectrul electromagnetic se propagă cu viteza luminii (lumina vizibilă, razele X, microundele, radiația infraroșie etc.).

**Undă gravitațională**

Perturbație de tip undă într-un câmp gravitațional.

**Viteză**

Mărime fizică ce descrie cât de repede și în ce direcție se mișcă un obiect.

**Zero absolut**

Cea mai scăzută temperatură posibilă, la care substanțele nu mai conțin deloc energie termică; aproximativ  $-273$  grade pe scara Celsius sau 0 pe scara Kelvin.